



Circuito de interfaz capacitivo basado en descarga periódica
con oscilador en anillo.

UNIVERSIDAD CARLOS III DE MADRID

TRABAJO FIN DE GRADO



**CIRCUITO DE INTERFAZ CAPACITIVO
BASADO EN DESCARGA PERIÓDICA
CON OSCILADOR EN ANILLO**

*GRADO EN INGENIERÍA ELECTRÓNICA
INDUSTRIAL Y AUTOMÁTICA*

Autor: Borja Cruz Amarilla

Tutor: Luis Hernández Corporales

Leganés, 26 de Septiembre de 2017



ÍNDICE

ÍNDICE.....	2
ÍNDICE DE FIGURAS	3
ÍNDICE DE TABLAS	4
TABLA DE ACRÓNIMOS	4
Capítulo 1: RESUMEN Y ABSTRACT.	5
Capítulo 2: PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA Y ESTADO DEL ARTE.	8
2.1 Medida de la capacidad (Condensadores).	9
2.2 Circuitos interfaz (Convertidores de capacidad a digital).	15
Capítulo 3: Justificación de la solución.....	20
3.1 Principio utilizado.....	22
3.2 – Oscilador en anillo.....	22
3.3 – Diagrama de bloques y funcionamiento del sistema.	23
Capítulo 4: DISEÑO DEL CIRCUITO.....	27
4.1 – Herramientas utilizadas.....	28
4.2 – Esquema del circuito.	29
4.3 – Simulación del circuito.	30
Capítulo 5: CONSTRUCCIÓN Y PRUEBAS.	32
5.1 – Fotos del montaje, banco de pruebas y medidas.	33
5.2 – Diseño de la placa PCB.	42
Capítulo 6: PLANIFICACIÓN Y PRESUPUESTO.	46
6.1 – Planificación.	47
6.2 – Diagrama de gantt.....	48
6.3 – Planificación de fechas.	49
6.4 – Presupuesto.....	50
Capítulo 7: CONCLUSIONES Y FUTURAS MEJORAS.	52
Capítulo 8: ANEXOS.....	54
8.1 Datasheet LM324N.....	55
8.2 Datasheet 74HC04.....	69
8.3 Datasheet BS250P	76
Capítulo 9: BIBLIOGRAFÍA.....	77



ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Simbología de condensadores	10
Figura 2. Condensador cerámico.....	11
Figura 3. Condensador de plástico	12
Figura 4. Condensadores de mica	12
Figura 5. Condensadores electrolíticos	13
Figura 6. Leyes de variación de la capacidad respecto a la rotación	14
Figura 7. Capacitor ajustable: Trimmer	Figura 8. Capacitor variable:
Tándem	14
Figura 9. Circuito interfaz medida de la impedancia.....	15
Figura 10. Circuito interfaz medición corriente-voltaje 1	16
Figura 11. Circuito interfaz medición corriente-voltaje 2	17
Figura 12. Circuito interfaz medición de la frecuencia.....	17
Figura 13. Circuito interfaz medición del tiempo.....	18
Figura 14. Esquema general del circuito	21
Figura 15. Esquema del principio básico del circuito	22
Figura 16. Esquema del oscilador en anillo con cinco inversores	23
Figura 17. Diagrama de bloques del circuito.....	23
Figura 18. Onda cuadrada	24
Figura 19. Simbología: transistor mosfet de canal P	24
Figura 20. Prácticas de carga y descarga de un condensador.....	25
Figura 21. Gráfica de función sinusoidal	25
Figura 22. Esquema de divisor de tensión	26
Figura 23. Simbología de amplificador operacional	26
Figura 24. Gráficas de ejemplo del funcionamiento de un A.O	26
Figura 25. Icono LT-Spice	28
Figura 26. Icono Eagle.....	28
Figura 27. Esquemático del circuito LT-Spice	29
Figura 28. Simulación LT-Spice 1.....	30
Figura 29. Simulación LT-Spice 2.....	30
Figura 30. Montaje completo en laboratorio.....	33
Figura 31. Montaje completo de la Protoboard.....	34
Figura 32. Fuente de alimentación.....	34
Figura 33. Amplitud y Offset: generador de funciones	35
Figura 34. Frecuencia y tipo de onda: generador de funciones.....	35
Figura 35. Medición en la puerta del transistor	36
Figura 36. Señal de la puerta del transistor	36
Figura 37. Medición del drenador del condensador	37
Figura 38. Medida del drenador del condensador.....	37
Figura 39. Medición del oscilador en anillo	38
Figura 40. Señal del oscilador en anillo	38
Figura 41. Medición de la tensión umbral	39
Figura 42. Señal de la tensión umbral	39



Figura 43. Medición de la pata positiva del comparador.....	40
Figura 44. Señal de la pata positiva del comparador	40
Figura 45. Medición de la salida del comparador	41
Figura 46. Señal de la salida del comparador.....	41
Figura 47. Señal de oscilación y medida de su frecuencia	42
Figura 48. Esquemático del circuito	43
Figura 49. Layout1	44
Figura 50. PDF1	44
Figura 51 PDF2.	45
Figura 52.PCB	45
Figura 53. Diagrama de Gantt	48

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2. Planificación del proyecto	49
Tabla 3. Importe de los materiales.....	50
Tabla 4. Importe de personal y otros	51

TABLA DE ACRÓNIMOS

ACRÓNIMO	SIGNIFICADO
TFG	Trabajo Fin de Grado
MEMS	Micro Electrical Mechanical System
CAD	Computer Aided Design
PCB	Printed Circuit Board
TTL	Transistor Logic
CMOS	Complementary Metal Oxide Semiconductor
MOSFET	Metal-Oxide-Semiconductor-Field-Effect-Transistor
LAYOUT	Disposición de un circuito impreso



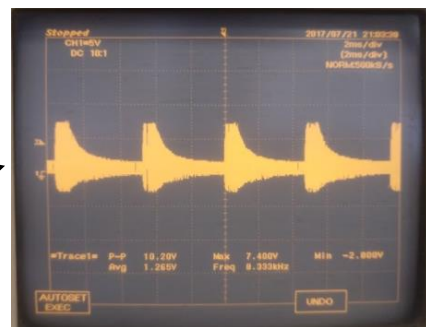
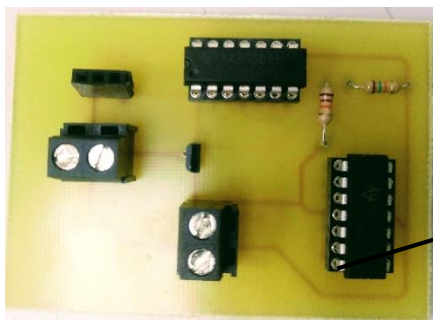
Capítulo 1: RESUMEN Y ABSTRACT.

RESUMEN

En este trabajo fin de grado se ha abordado el diseño, construcción y pruebas de un circuito que sirve como medidor de capacidad.

El principio de funcionamiento se basa en medir la variación de frecuencia de un oscilador alimentado por el condensador a medir. El condensador se precarga a una tensión de referencia. El número de pulsos generados por el oscilador refleja la carga en el condensador y por tanto permite estimar su capacidad.

El diseño del TFG se ha realizado y validado con la ayuda de un programa de CAD con captura esquemática y simulación de circuitos. Posteriormente, se ha construido un prototipo del circuito, y se ha validado su funcionamiento experimental en el laboratorio. Para las pruebas del circuito, se ha diseñado y construido una placa PCB empleando otra herramienta CAD. La fotografía del circuito y una medida de su funcionamiento se muestran en la siguiente figura.



Los circuitos de conversión de capacidad a digital tiene especial relevancia en el entorno socioeconómico actual puesto que son la base de prácticamente la totalidad de los sensores físicos integrados en los dispositivos móviles. Los acelerómetros, giróscopos, micrófonos y medidores de presión se implementan empleando sensores capacitivos tipo MEMS. Por tanto los circuitos de interfaz con estos sensores son una parte importante de la economía digital. En este trabajo fin de grado se aborda la digitalización del valor de un condensador mediante un método alternativo a los circuitos del arte previo, basados en su mayoría en la integración de una corriente o tensión. Esto permite que el circuito se realice solo con componentes digitales. Si bien, el trabajo fin de grado es un demostrador empleando componentes discretos, sirve para comprobar la factibilidad de un futuro circuito integrado basado en este principio.

Dada la naturaleza experimental y de prueba de nuevas aproximaciones al problema no sea encontrado normativa que aplique al desarrollo realizado. No obstante, en la documentación previa para la realización de este trabajo se ha recopilado y estudiado la información de todos los fabricantes de sensores MEMS que pudieran beneficiarse de este nuevo método de conversión.



ABSTRACT

This end-of-degree work has addressed the design, construction and testing of a circuit that serves as a capacity meter.

The operating principle is based on measuring the frequency variation of a oscillator fed by the capacitor to be measured. The capacitor is precharged to a reference voltage. The number of pulses generated by the oscillator reflects the load on the capacitor and therefore allows estimating its capacity.

The design of the GFR has been carried out and validated with the help of a CAD program with schematic capture and simulation of circuits. Subsequently, a prototype of the circuit has been built, and its experimental performance in the laboratory has been validated. For the circuit tests, a PCB board has been designed and built using another CAD tool. The photograph of the circuit and a measure of its operation are shown in the following figure.



The capacity-to-digital conversion circuits are particularly relevant in the current socioeconomic environment since they are the basis of virtually all of the physical sensors integrated into the mobile devices. Accelerometers, gyroscopes, microphones and pressure gauges are implemented using MEMS-type capacitive sensors. So the interface circuits with these sensors are an important part of the digital economy. In this end-of-degree work, the digitization of the value of a capacitor is addressed by an alternative method to the previous art circuits, mostly based on the integration of a current or voltage. This allows the circuit to be performed only with digital components. Although the end-of-degree work is a demonstrator using discrete components, it serves to verify the feasibility of a future integrated circuit based on this principle.

Given the experimental and test nature of new approaches to the problem is not found legislation that applies to the development carried out. However, in the previous documentation for the accomplishment of this work has been compiled and studied the information of all the manufacturers of MEMS sensors that could benefit from this new method of conversion.



Capítulo 2:

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA Y ESTADO DEL ARTE.



2.1 Medida de la capacidad (Condensadores).

Para entender el funcionamiento del circuito que se va a tratar en este trabajo de fin de grado lo primero que hay que entender es qué es la capacidad, en electromagnetismo y electrónica, la capacidad eléctrica, que es también conocida como capacitancia, es la propiedad que tienen los cuerpos para mantener una carga eléctrica. La capacidad es también una medida de la cantidad de energía eléctrica almacenada para una diferencia de potencial eléctrico dada. Lo segundo que hay que saber es que el dispositivo más común que almacena energía de esta forma es el condensador. [1] La relación entre la diferencia de potencial (o tensión) existente entre las placas del condensador y la carga eléctrica almacenada en éste, se describe mediante la siguiente expresión matemática:

$$C = \frac{Q}{V}$$

donde:

C: es la capacidad, medida en faradios (en honor al físico experimental Michael Faraday); esta unidad es relativamente grande, las medidas que se van a utilizar y suelen utilizarse van a ser submúltiplos como el microfaradio o picofaradio. Aquí se muestra una explicación de estos submúltiplos:

- m (mili) quiere decir 10^{-3} , así $1000 \text{ mF} = 1 \text{ F}$
- μ (micro) quiere decir 10^{-6} , así $1000 \mu\text{F} = 1 \text{ mF}$
- n (nano) quiere decir 10^{-9} , así $1000\text{nF} = 1 \mu\text{F}$
- p (pico) quiere decir 10^{-12} , así $1000\text{pF} = 1 \text{ nF}$

Q: es la carga eléctrica almacenada, medida en culombios;

V: es la diferencia de potencial (o tensión), medida en voltios.

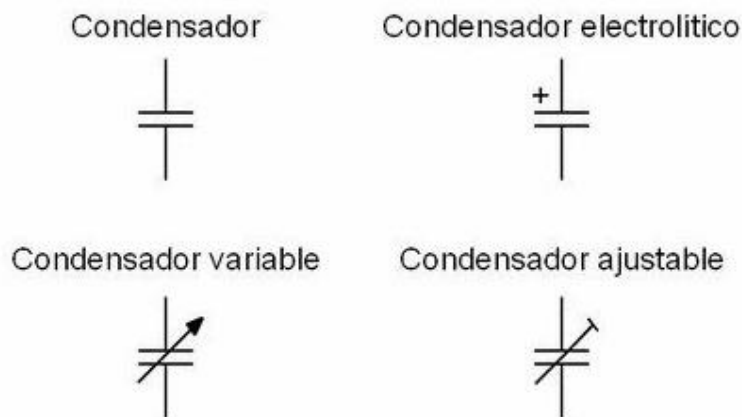


Figura 1. Simbología de condensadores

CONDENSADORES FIJOS

Todos los condensadores tienen una capacidad que permanece fija, es decir, no se puede variar desde el momento de su fabricación, por lo tanto, la capacidad la determina el fabricante.

Las características que hace que un condensador tenga mayor o menor capacidad depende en su mayor parte del dieléctrico que su utiliza, por este motivo los nombres de los condensadores surgen del dieléctrico del que están fabricados.

A continuación, se presentan los diferentes tipos de condensadores según su dieléctrico:

CONDENSADORES CERÁMICOS

El dieléctrico utilizado por dichos condensadores es la cerámica, siendo el material más usado el dióxido de titanio. [2] Este material aporta al condensador grandes inestabilidades. Debido a esto, se pueden diferenciar dos grupos:

- Grupo 1: caracterizados por una alta estabilidad, un coeficiente de temperatura bien definido y casi constante.
- Grupo 2: su coeficiente de temperatura no está prácticamente definido. Presenta características no lineales. Su capacidad varía considerablemente con la temperatura, la tensión y el tiempo de funcionamiento.

Las altas constantes dieléctricas características de las cerámicas permiten amplias posibilidades de diseño mecánico y eléctrico.



Las especificaciones de estos condensadores son aproximadamente las siguientes:

- Capacidades desde 0,5 pF hasta 470 nF
- Tensión de funcionamiento desde 3 V. a 15.000 Volts o más.
- Tolerancia entre 1% y 5%
- Relativamente de pequeño tamaño en relación a la capacidad.
- Gran banda de tensiones de trabajo.
- Funcionan correctamente en circuitos con frecuencias elevadas.
- Muy útiles para circuitos que requieren una alta precisión.



Figura 2. Condensador cerámico

CONDENSADORES DE PLÁSTICO

Las características principales de estos condensadores son las altas resistencias de aislamiento y las elevadas temperaturas en las que puede funcionar.

Según el proceso de fabricación, podemos diferenciar entre los de tipo K y tipo MK. En el primer tipo, la armadura es de metal, mientras que en el segundo es de metal vaporizado.



Circuito de interfaz capacitivo basado en descarga periódica con oscilador en anillo.

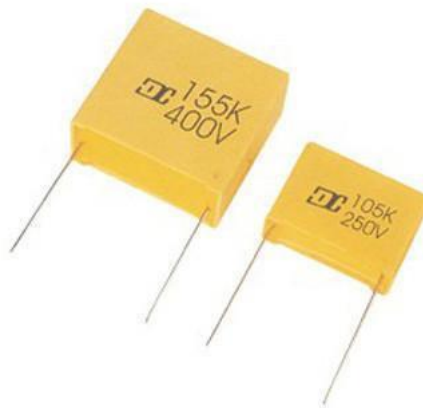


Figura 3. Condensador de plástico

CONDENSADORES DE MICA

El dieléctrico que se utiliza en estos condensadores es la mica o silicato de aluminio y potasio y se caracterizan principalmente por las bajas pérdidas que tienen, el gran rango de frecuencias y la alta estabilidad ante las posibles variaciones de la temperatura o el tiempo.



Figura 4. Condensadores de mica

CONDENSADORES ELECTROLÍTICOS

[3] En estos condensadores que son como los utilizados para el circuito de este proyecto una de las armaduras es de metal y la otra está constituida por un conductor iónico o electrolito. La gran característica que poseen es que tienen unos altos valores capacitivos en relación a su tamaño y en la gran mayoría de los casos son polarizados, es decir, una de sus patas (la más larga normalmente) tendrá que colocarse en la parte del circuito con mayor tensión que la que tenga el otro en el que irá situada la otra pata.



Podemos distinguir dos tipos:

- Electrolíticos de aluminio: la armadura metálica es de aluminio y el electrolito de tetraborato armónico.
- Electrolíticos de tántalo: el dieléctrico está constituido por óxido de tántalo y nos encontramos con mayores valores capacitivos que los anteriores para un mismo tamaño. Por otra parte, las tensiones nominales que soportan son menores que los de aluminio y su costo es algo más elevado.

Las principales características de los condensadores electrolíticos son:

- Capacidad con valores de 1uF a 220.000 uF
- Valores de tensión desde 2 voltios a 1.000 voltios.
- Tolerancia entre -20% y +50%.
- Se debe respetar la polaridad.
- La capacidad aumenta conforme pasa el tiempo desde la construcción del condensador.
- Acaban caducando.
- La capacidad puede variar levemente en función de la tensión que se le aplica
- Los condensadores electrolíticos no se usan en circuitos de alta frecuencia y en circuitos de corriente continua.

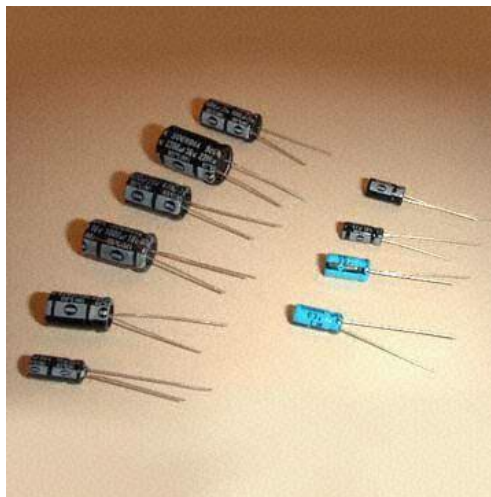


Figura 5. Condensadores electrolíticos



CONDENSADORES VARIABLES Y AJUSTABLES

Estos condensadores presentan una capacidad que se puede variar dentro de unos límites. Al igual que ocurre con las resistencias, podemos distinguir entre:

1. Condensadores Variables: su uso habitual es en aplicaciones en las que se necesita variar la capacidad de forma manual continuamente (por ejemplo, sintonizadores).

2. Capacitores ajustables o trimmers: suelen ser ajustados una sola vez (aplicaciones de reparación y puesta a punto).

La variación de la capacidad se consigue accionando mecánicamente las placas enfrentadas que tienen como dieléctrico el aire, en el caso del trimmer por ejemplo mediante un destornillador. [3] La relación con que varían su capacidad respecto al ángulo de rotación viene determinada por la forma de construcción en las placas enfrentadas, siguiendo las diferentes leyes de variación, entre las que destacan la lineal, logarítmica y cuadrática corregida.

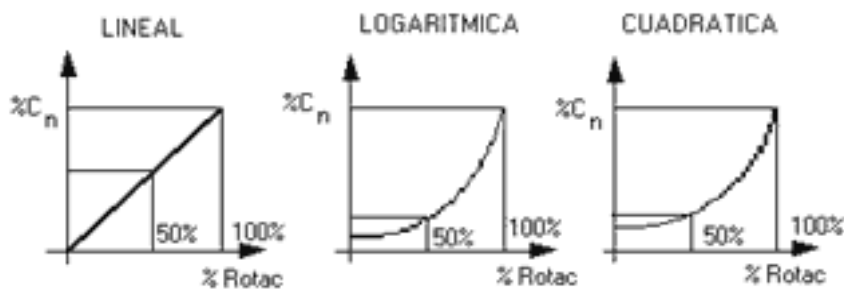


Figura 6. Leyes de variación de la capacidad respecto a la rotación



Figura 7. Capacitor ajustable: Trimmer



Figura 8. Capacitor variable: Tándem



2.2 Circuitos interfaz (Convertidores de capacidad a digital).

En la actualidad, los elementos tecnológicos usan los sensores para detectar elementos o cambios externos como la velocidad, la aceleración, la posición, la rotación, la temperatura, la luminosidad o la presencia de objetos.

Si al sensor le añadimos un circuito electrónico, el dispositivo puede reaccionar al estímulo del sensor, transmitiendo la información necesaria en forma de señal eléctrica al propio dispositivo o al usuario.

De todos los tipos de sensores en este TFG se van a estudiar los sensores capacitivos que funcionan a través de un componente funcionando como un condensador y que conectado a un circuito interfaz, permitirá transformar la magnitud física a algo que un circuito electrónico pueda interpretar.

En sensores de alta resolución y micro sensores los cambios de capacidad [4] que tienen que ser medidos pueden ser extremadamente pequeños.

Por este motivo, se necesita una adecuada interconexión para preservar el rendimiento intrínseco del sistema del sensor.

Se tiene cuatro métodos principales de interfaz para sensores capacitivos:

1. Medida de la impedancia.

Una medida apropiada de la salida de puente voltaje requiere un amplificador diferencial con alta impedancia de entrada y alto común de rechazo del modo. Claramente, el modo diferencial produce una mejor linealidad y un rango dinámico más amplio.

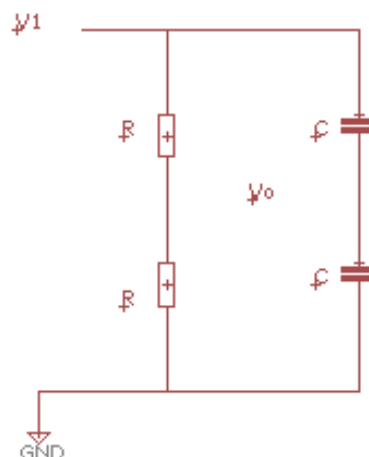


Figura 9. Circuito interfaz medida de la impedancia



Las ecuaciones que utiliza son las siguientes:

$$\frac{V_o}{V_i} = \frac{1}{2} - \frac{C_1}{C_1 + C_2} = \frac{1}{2} \cdot \frac{C_2 - C_1}{C_1 + C_2}$$

$$\frac{V_o}{V_i} \approx -\left(\frac{\Delta C}{4C}\right) \cdot \left(1 - \frac{\Delta C}{2C}\right)$$

$$\frac{V_o}{V_i} = -\frac{\Delta C}{2C}$$

2. Medición corriente-voltaje con amplificador operacional.

Modo simple:

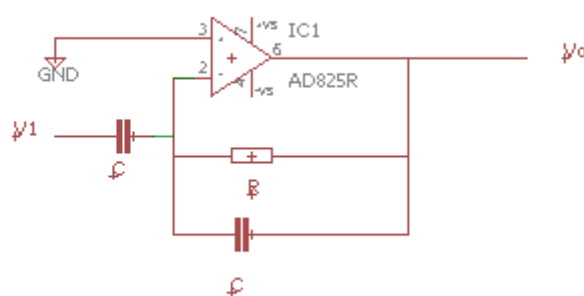


Figura 10. Circuito interfaz medición corriente-voltaje 1

$$\frac{V_o}{V_i} = \frac{C + \Delta C}{C_f}$$



Modo diferencial:

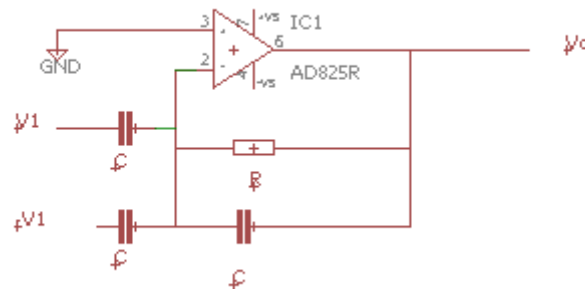


Figura 11. Circuito interfaz medición corriente-voltaje 2

$$\frac{V_o}{V_i} = 2 \frac{\Delta C}{C_f}$$

3. Medición de la frecuencia (C determina la frecuencia en un oscilador LC).

Los convertidores de capacidad a digital funcionan con la oscilación que provoca la descarga de un condensador. La oscilación se puede producir mediante un circuito LC donde el condensador se descarga por la bobina y la tensión del circuito LC con el tiempo funcionará un movimiento armónico simple que sigue a la ecuación de oscilador armónico. Esto es posible debido a que la energía se conserva, es decir, según se va cargando el condensador la energía pasa de almacenarse en el campo eléctrico del condensador para almacenarse en el campo magnético de la bobina.

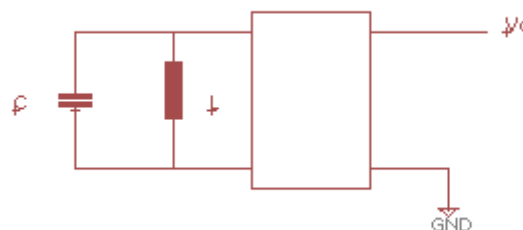


Figura 12. Circuito interfaz medición de la frecuencia

$$f = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC_x}} \approx f_0 \left(1 - \frac{\Delta C}{2C}\right)$$

Donde f_0 es la frecuencia en el estado inicial. [5] Una ventaja del método del oscilador es que el procesamiento de la señal es más fácil con un microprocesador: la frecuencia se puede determinar por el número de pulsos del reloj durante un ciclo de la señal del oscilador. Obviamente, los otros elementos del circuito deben ser estables y el proceso de la oscilación se debe garantizar sobre la gama entera de la capacitancia. El interfaz contiene un microprocesador controló el sistema de la regeneración con un VCO (oscilador voltaje-controlado), que mantiene la frecuencia igual a la frecuencia de resonancia del LC.

4. Medición del tiempo (carga y descarga C con corriente constante).

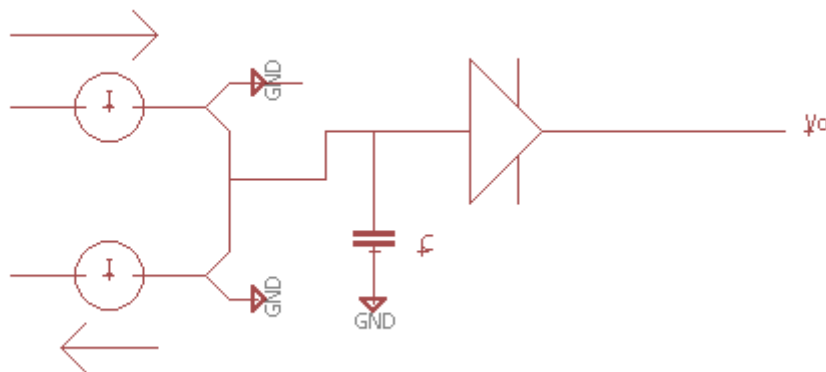


Figura 13. Circuito interfaz medición del tiempo

Un circuito de interfaz que combina las ventajas de una salida de señal de tiempo y alta linealidad es un ejemplo de un oscilador de relajación. La capacitancia desconocida se carga y se descarga periódicamente con las corrientes I_1 y I_2 . Durante la carga, V_C va a aumentar linealmente con tiempo hasta que se alcanza el nivel de la histéresis superior del disparador. [5] En ese momento la capacitancia se descarga hasta que el nivel de histéresis inferior. El resultado es una señal de salida triangular periódica con la amplitud fija entre los niveles del disparador y una frecuencia relacionada con la capacitancia según:



$$f = \frac{I}{2C_x V_s}$$

El método produce resultados precisos porque la frecuencia depende sólo de estos niveles fijos y de la carga actuales. Es uno de los circuitos de interfaz que se han desarrollado y han apuntado a una estabilidad más alta, a la sensibilidad, a la velocidad de proceso y a la reducción de capacitancias parásitas. [5] La capacitancia de la regeneración, una capacitancia de la referencia y el aumento del voltaje se pueden programar para optimizar funcionamiento del circuito. Esta facilidad hace el chip aplicable para una variedad de sensores capacitivos

Algunos sensores capacitivos más comunes y que se implementan en MEMS [6] son:

- Sensores de proximidad y detección de objetos[7].
- Acelerómetro [8]
- Micrófonos [9]



Capítulo 3: Justificación de la solución.



Circuito de interfaz capacitivo basado en descarga periódica con oscilador en anillo.

El circuito que se presentará a continuación es, en definitiva, un circuito convertidor de capacidad a digital. Este circuito podría formar parte de un sistema micro electro mecánico denominado por las siglas MEMS [10] (micro electrical mechanical system).

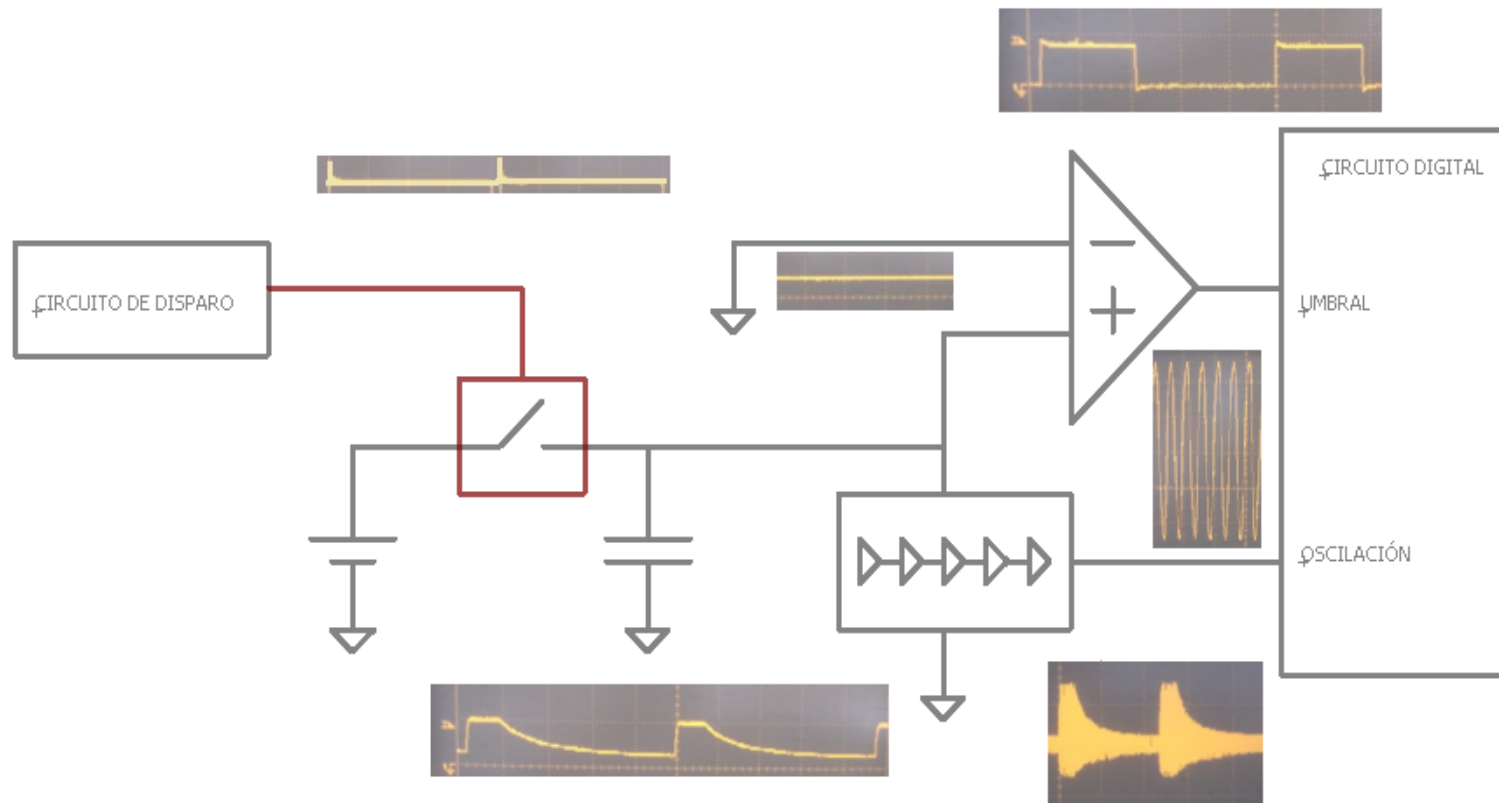


Figura 14. Esquema general del circuito

3.1 Principio utilizado

El principio que se utiliza consiste en los siguientes pasos:

- 1º) Se cierra el interruptor y se carga el condensador.
- 2º) Se abre el interruptor y se descarga el condensador. El condensador se descarga a través del oscilador en anillo. El contador cuenta el número de oscilaciones que hay durante la descarga del condensador.

Decimos que la cantidad de oscilaciones que cuenta el contador es directamente proporcional a la capacidad que tiene el condensador que se va a medir:

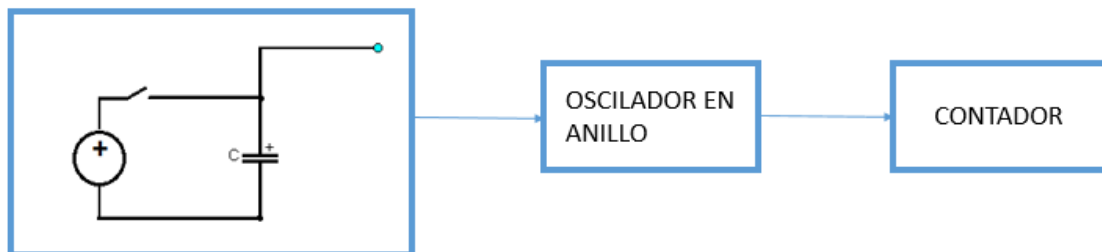


Figura 15. Esquema del principio básico del circuito

3.2 – Oscilador en anillo.

Un oscilador de anillo consiste en un dispositivo que se compone obligatoriamente por un número impar de inversores o en su defecto puertas NAND o NOR configuradas como inversores. Conectándose uno detrás de otro de forma que se cierra el bucle, de tal forma que el último inversor está conectado al primero. [11] Con este tiempo de conexión estará realimentándose. Cada inversor ayuda al desfase de la señal, esto sucede porque la señal no cruza el inversor de manera instantánea, sino que tiene un tiempo de retraso.

Otro dato importante del oscilador en anillo es que cuantos más inversores se unan (el mínimo recomendado para el correcto funcionamiento del oscilador es de 5 inversores tal y como hemos utilizado en nuestro circuito), más frecuencia (puede llegar a 100MHz) y desfase tendrá la señal de oscilación que se va a obtener [12].

Este tipo de oscilador lo usan muchos circuitos integrados como micro controladores y así sustituyen a los de cristales de cuarzo o condensadores.



Este circuito es muy adecuado para estudiarlo en una placa protoboard y con la ayuda de un osciloscopio poder ver las diferencias que se producen entre las diferentes subfamilias TTL y las CMOS.

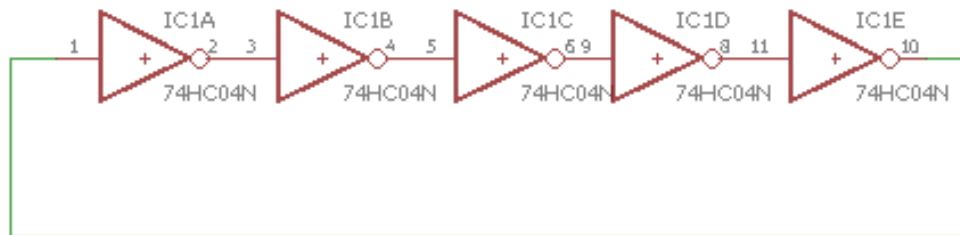


Figura 16. Esquema del oscilador en anillo con cinco inversores

3.3 – Diagrama de bloques y funcionamiento del sistema.

Se muestra el diagrama de bloques del circuito:

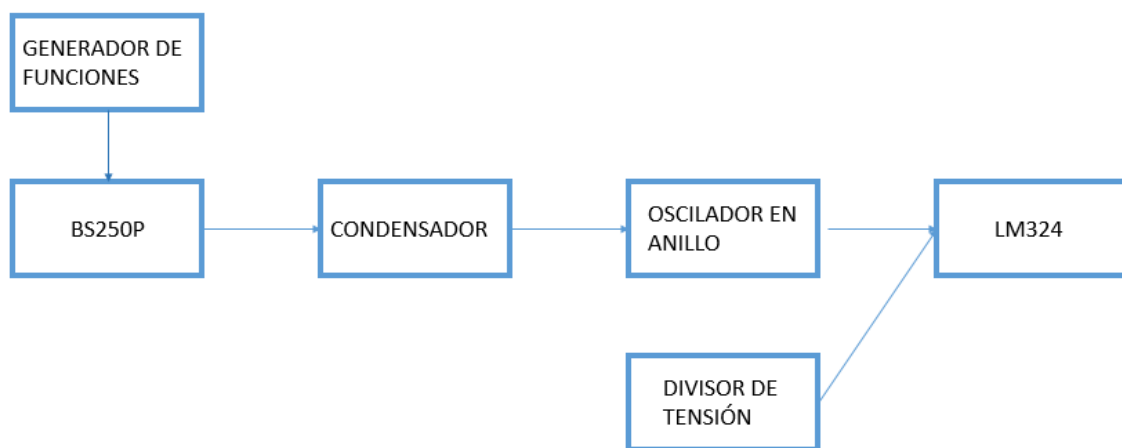


Figura 17. Diagrama de bloques del circuito

En este apartado se explicará la funcionalidad y el funcionamiento de cada una de las partes de nuestro circuito:



- **Generador de funciones:** Se utiliza el generador de funciones para generar una onda cuadrada con la que conseguiremos que la puerta del transistor tenga una tensión para que se cierre y conduzca. Por el contrario, cuando la onda cuadrada está a cero y no genera tensión en la puerta funcionará como un interruptor abierto y por lo tanto el circuito deja de funcionar con la fuente de alimentación y pasa a funcionar con la carga que tiene el condensador.

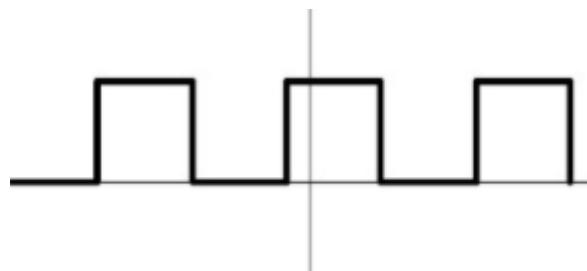


Figura 18. Onda cuadrada

- **Transistor BS250P:** Es un transistor mosfet de canal P. En resumen, como se ha explicado anteriormente funciona como un interruptor que se activa mediante tensión en la puerta (G). Cuando el interruptor está cerrado existe un paso de corriente entre la fuente (S) hacia el drenador (D).

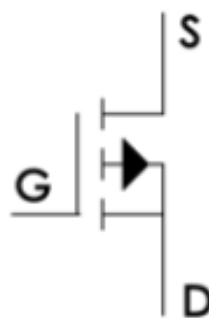


Figura 19. Simbología: transistor mosfet de canal P

- **Condensador:** Cuando el interruptor está cerrado el condensador se carga de tal manera que una de las placas adquiere una carga positiva y la otra una carga negativa, de esta manera almacena energía de forma potencial.



Cuando el interruptor está abierto el condensador alimenta el circuito gracias a una circulación de corriente hacia el mismo.

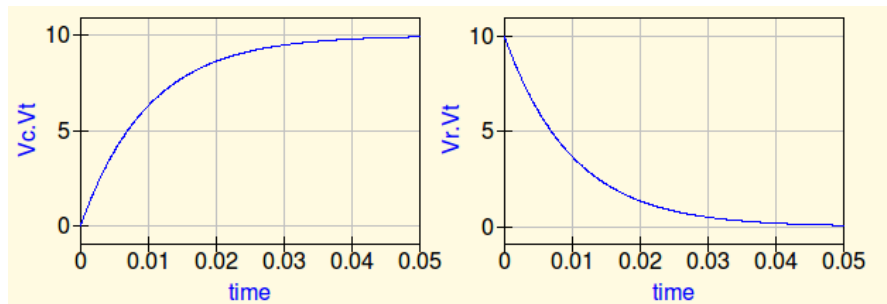


Figura 20. Prácticas de carga y descarga de un condensador

- Oscilador en anillo: se ha explicado en el apartado 2.1 pero el funcionamiento básico es que gracias a los inversores se genera una oscilación.

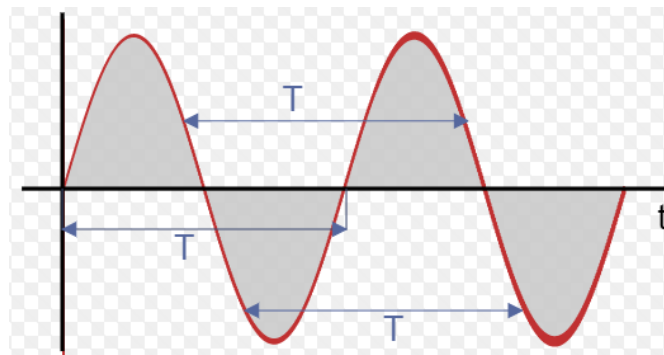


Figura 21. Gráfica de función sinusoidal

- Divisor de tensión: Se utiliza en nuestro circuito para conseguir la tensión umbral que necesitamos de la siguiente manera:

$$V_{out} = \frac{R_2}{R_1 + R_2} \cdot V_{in} = \frac{15}{11 + 15} \cdot 5 = 2,88 \text{ (V)}$$



Circuito de interfaz capacitivo basado en descarga periódica con oscilador en anillo.

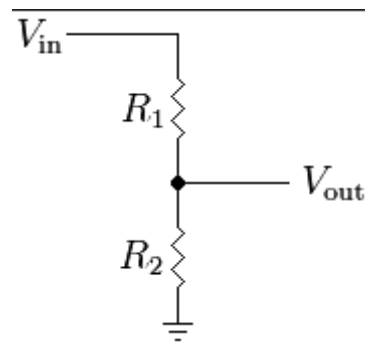


Figura 22. Esquema de divisor de tensión

- Amplificador operacional: Esta alimentado a +5 voltios y a 0 voltios. Se utiliza en nuestro circuito como comparador. Por la pata positiva le entrar la señal de oscilación y por la pata negativa la señal de la tensión umbral. Como salida obtenemos una señal. El funcionamiento consiste en que cuando el valor de la tensión de la oscilación supera el valor de la tensión umbral en la salida del comparador tenemos una tensión de 5 voltios y cuando por el contrario el valor de la tensión de la señal de oscilación es inferior al valor de la tensión umbra en la salida tendremos una tensión de 0 voltios.

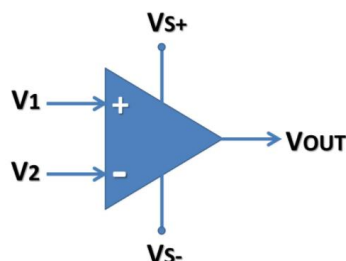


Figura 23. Simbología de amplificador operacional

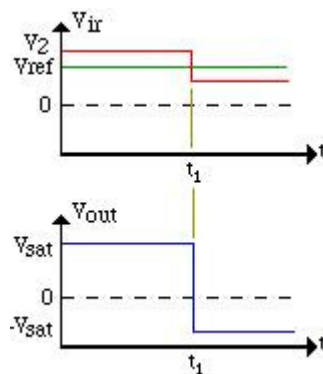


Figura 24. Gráficas de ejemplo del funcionamiento de un A.O



Capítulo 4: DISEÑO DEL CIRCUITO.



4.1 – Herramientas utilizadas.

LT-SPICE es un simulador SPICE de alto rendimiento, captura esquemática y visor de formas de onda con mejoras y modelos para facilitar la simulación de los reguladores de conmutación. Es capaz de realizar la simulación de los reguladores de conmutación extremadamente rápido en comparación con los simuladores SPICE normales, lo que permite al usuario ver formas de onda para la mayoría de los reguladores de conmutación en pocos minutos. Tiene más de 200 modelos de amplificadores operacionales, así como resistencias, transistores y modelos MOSFET.



Figura 25. Icono LT-SPICE

Eagle es un software para diseño de circuitos eléctricos y electrónicos con más de 20 años en el mercado, durante estos años ha evolucionado y según sus creadores es la herramienta que mejor representa la funcionalidad vs el precio. EAGLE es capaz de ofrecer un software de diseño de PCB de excelente calidad y ha sido usado de manera satisfactoria por ingenieros de diseño de todo el mundo, ofreciendo la misma funcionalidad básica que otros software comerciales mucho más caros. Eagle cuenta con una versión gratuita con algunas limitaciones y una versión comercial completa. Las características más destacadas por la empresa desarrolladora son su facilidad de aprendizaje y las grandes posibilidades de importación y exportación. Posee varias funciones como el editor de esquemas, editor de diseño, módulos de biblioteca, editor de interfaces de usuario.



Figura 26. Icono EAGLE



4.2 – Esquema del circuito.

El circuito básico del que partimos y que se quiere diseñar es el siguiente que se muestra montado en el programa LT-Spice:

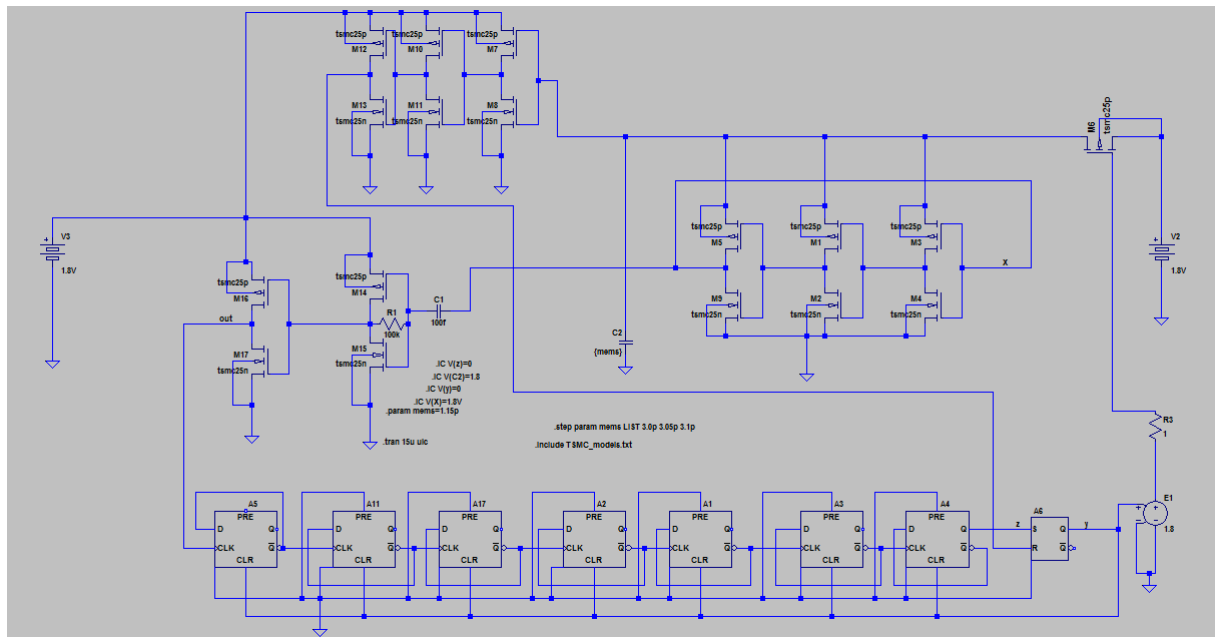


Figura 27. Esquemático del circuito LT-SPICE

Este circuito que se propone como idea inicial es muy similar al circuito final del proyecto.

El funcionamiento es el mismo con la carga del condensador mediante una fuente de tensión continua y su descarga a través de un oscilador en anillo.

La carga y descarga del condensador se efectúa en función del transistor que actúa como un interruptor. La puerta del interruptor va conectada a una fuente de tensión que se activa o desactiva en base a la salida del biestable.

El biestable tiene como entrada la señal de un contador y como reset la señal de fin de carrera del contador. Esta es la parte que finalmente se sustituye por la señal del generador de funciones.



4.3 – Simulación del circuito.

A continuación se muestran las señales medidas a través de simular el circuito con LT-SPICE, después de estudiar la simulación de circuitos [13].

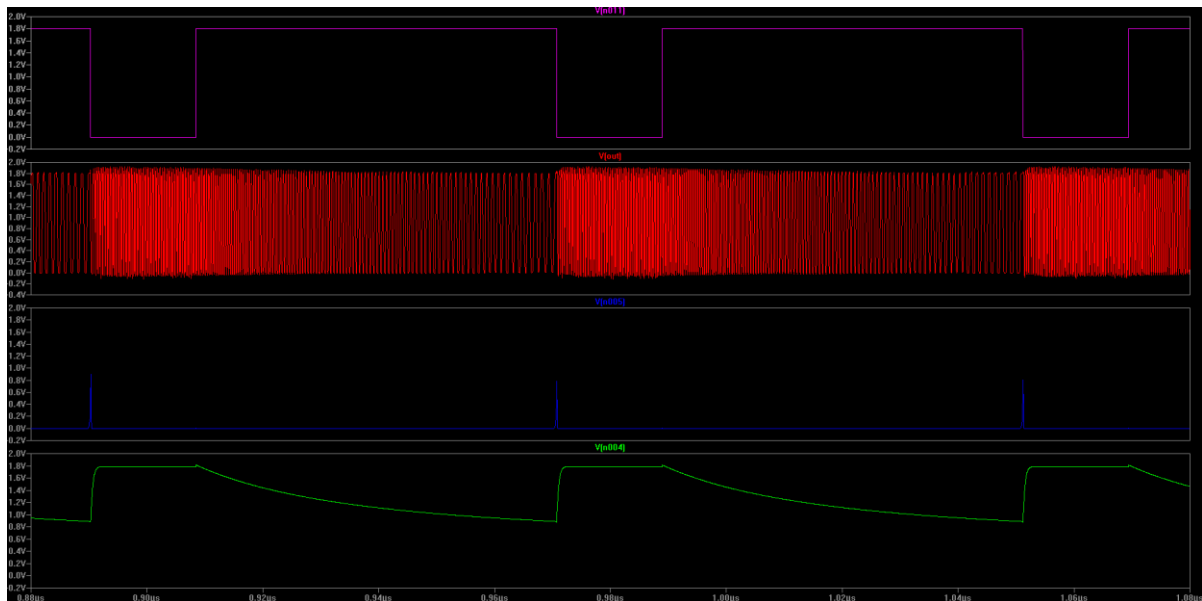


Figura 28. Simulación LT-SPICE 1

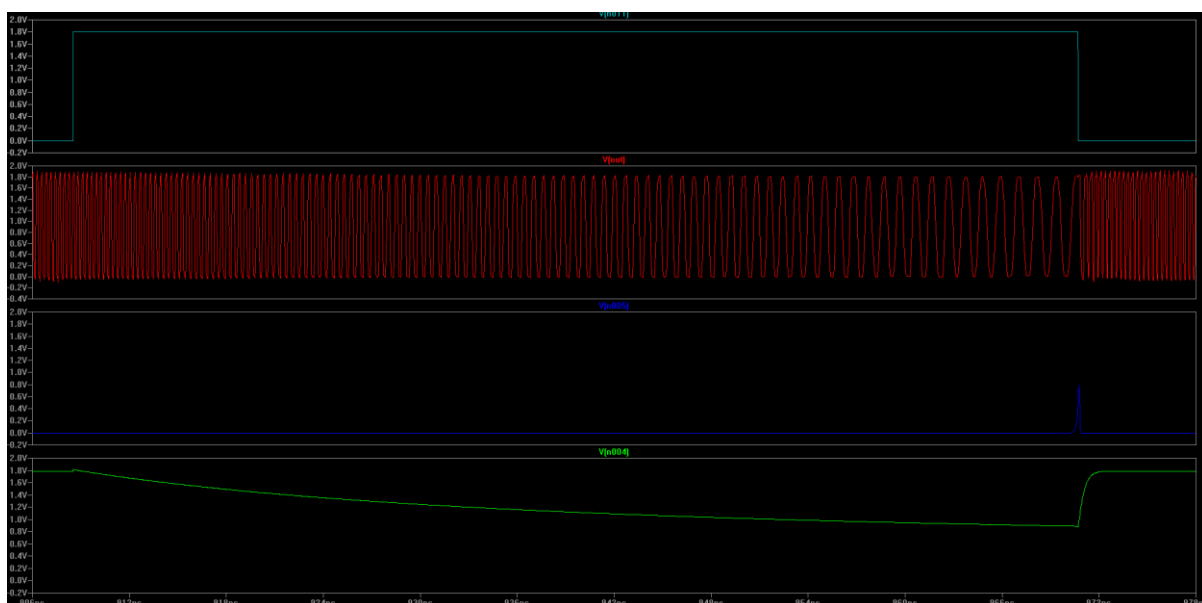


Figura 29. Simulación LT-SPICE 2



Circuito de interfaz capacitivo basado en descarga periódica con oscilador en anillo.

La verde es la señal de la tensión del condensador. El condensador se carga y se descarga con la alimentación y dependiendo del transistor que actúa como interruptor.

La azul oscura la tensión que hace el reset del biestable para que cambie el valor y así indicar que se vuelve a cargar el condensador volviendo a cambiar la tensión en la puerta del transistor.

La señal de color morado es la tensión en la puerta del transistor.

La roja es la señal de oscilación del oscilador en anillo



Capítulo 5: CONSTRUCCIÓN Y PRUEBAS.



5.1 – Fotos del montaje, banco de pruebas y medidas.

Después de decidir el circuito a montar, a falta del contador y el biestable que al final se decidió no incluir y una vez se comprobó que el circuito funcionaba se procedió a acudir al laboratorio a realizar en montaje.

Primero se muestran las imágenes del montaje completo en el laboratorio:

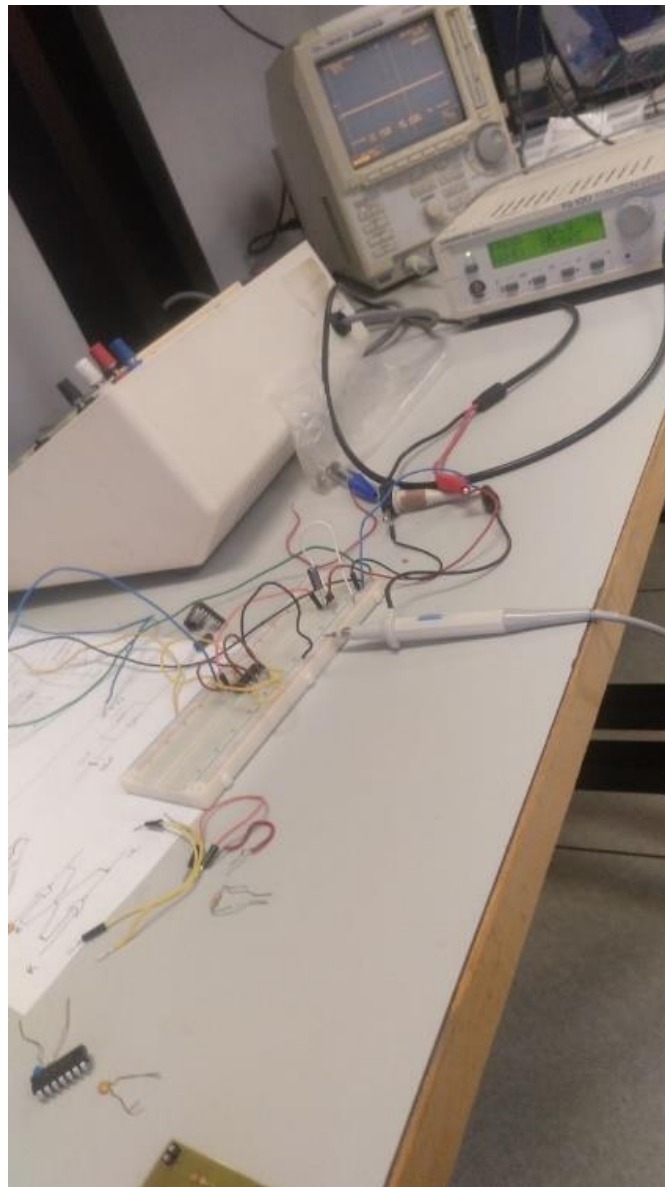


Figura 30. Montaje completo en laboratorio



Circuito de interfaz capacitivo basado en descarga periódica con oscilador en anillo.

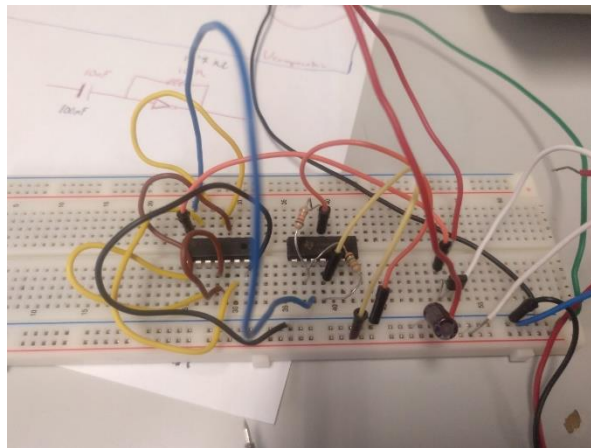


Figura 31. Montaje completo de la Protoboard

A continuación, se muestran las imágenes de la fuente de tensión que alimenta el circuito a y del generador de funciones que abre y cierra el transistor que actúa como interruptor:

En esta imagen se aprecia como el circuito esta alimentado a 5 voltios.



Figura 32. Fuente de alimentación

En esta imagen se muestra como la señal que controla la apertura y cierre del transistor del circuito es de 4,6 voltios de pico y con un offset de 1,2V.



Circuito de interfaz capacitivo basado en descarga periódica con oscilador en anillo.



Figura 33. Amplitud y Offset: generador de funciones

En esta imagen se muestra como la señal que controla la apertura y cierre del transistor del circuito es de tipo cuadrada y con una frecuencia de 210Hz.

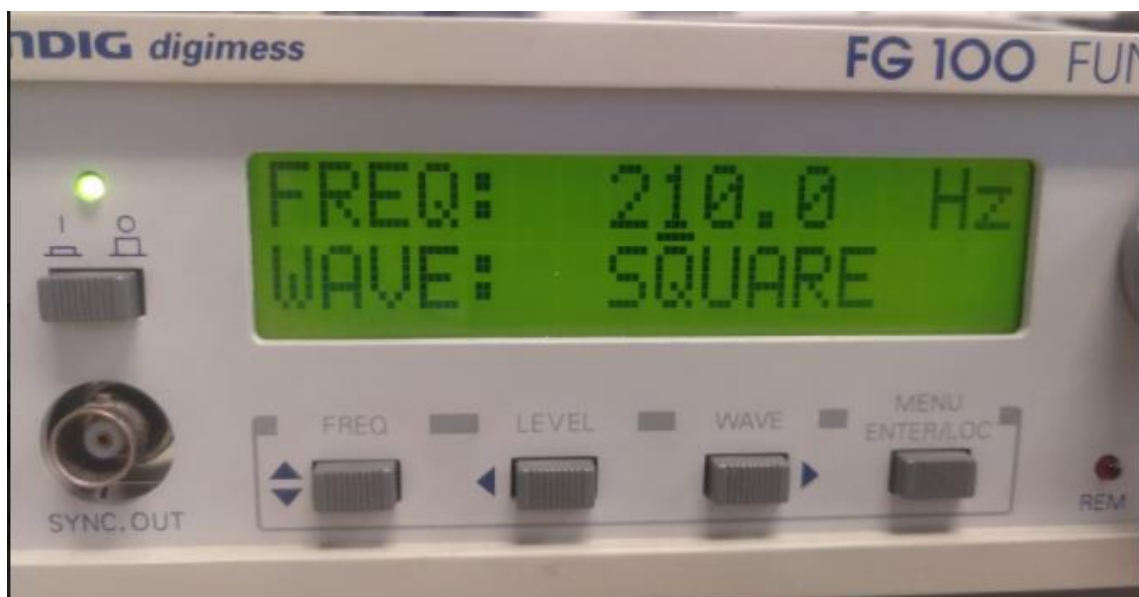


Figura 34. Frecuencia y tipo de onda: generador de funciones

Finalmente se muestran las imágenes de las medidas con el osciloscopio de los puntos clave del circuito, para ello se muestra una imagen del punto que se mide con el osciloscopio y a continuación la señal que nos muestra el osciloscopio con sus medidas:



Circuito de interfaz capacitivo basado en descarga periódica con oscilador en anillo.

Señal en la puerta del transistor:

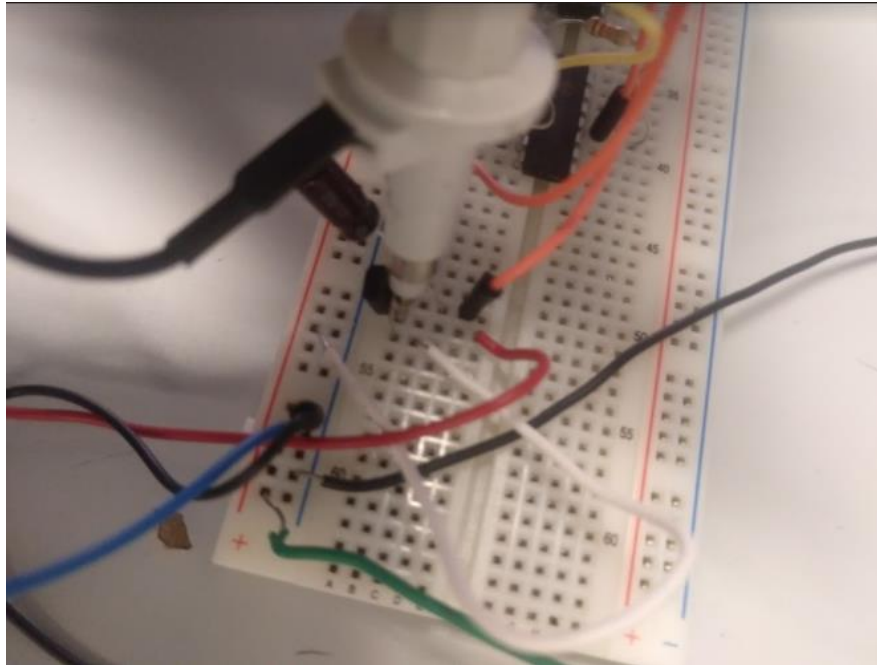


Figura 35. Medición en la puerta del transistor



Figura 36. Señal de la puerta del transistor



Circuito de interfaz capacitivo basado en descarga periódica con oscilador en anillo.

Señal en la pata positiva del condensador, la pata D del transistor y la alimentación del oscilador en anillo:

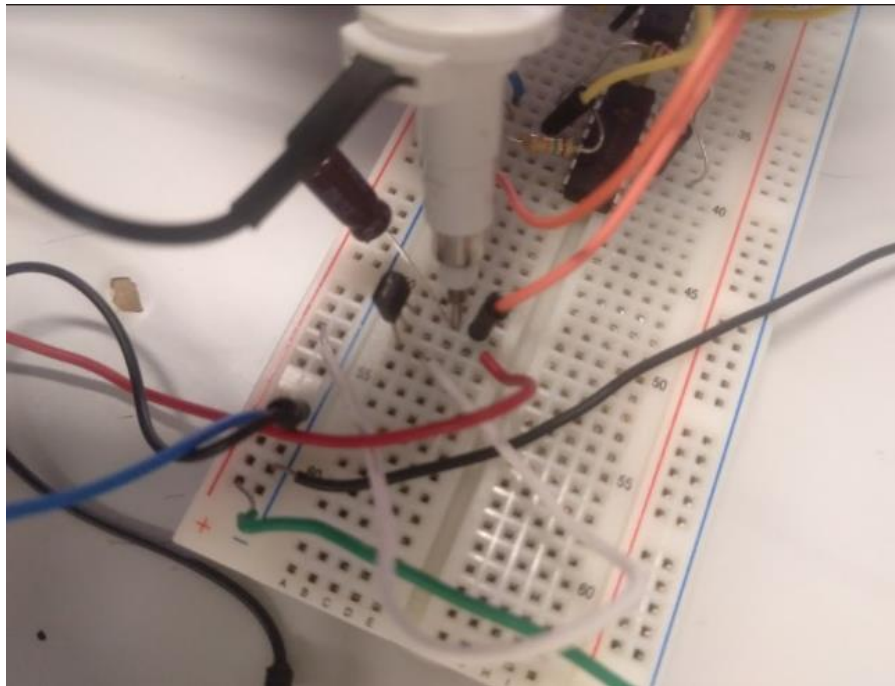


Figura 37. Medición del drenador del condensador



Figura 38. Medida del drenador del condensador



Circuito de interfaz capacitivo basado en descarga periódica con oscilador en anillo.

La señal del oscilador en anillo:

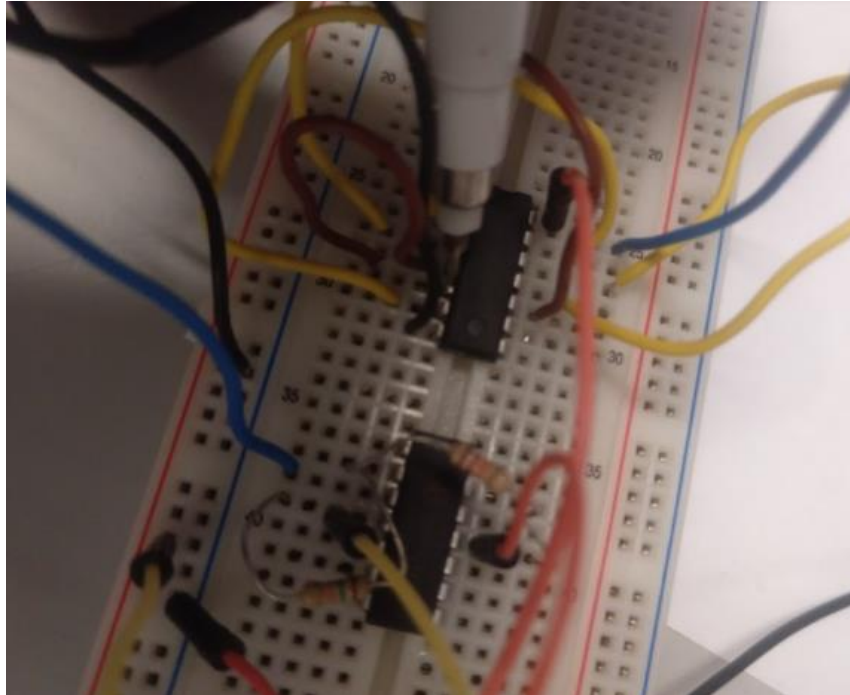


Figura 39. Medición del oscilador en anillo

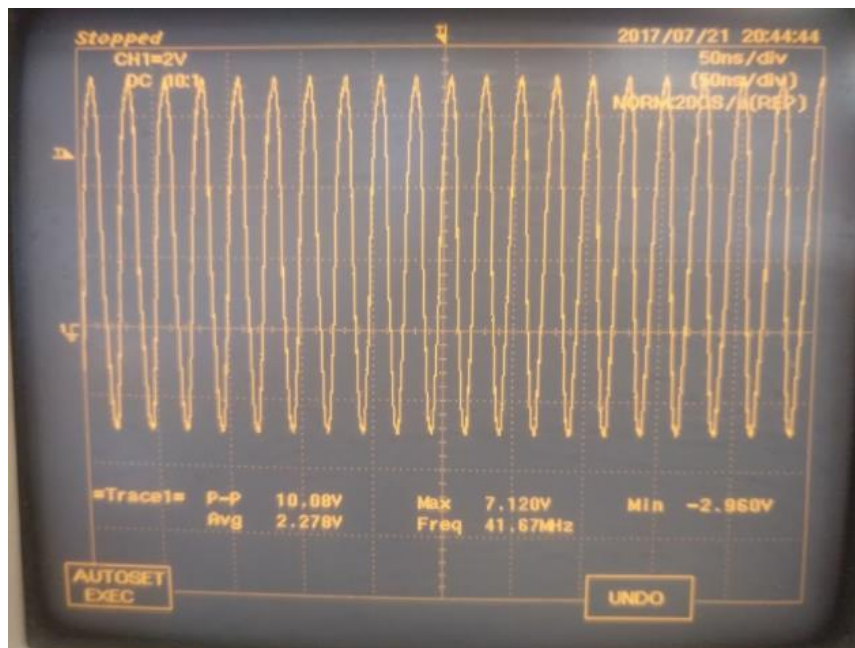


Figura 40. Señal del oscilador en anillo



Circuito de interfaz capacitivo basado en descarga periódica con oscilador en anillo.

La señal de la tensión umbral que fija el divisor de tensión. Esta señal de tensión entra al comparador en la pata negativa:

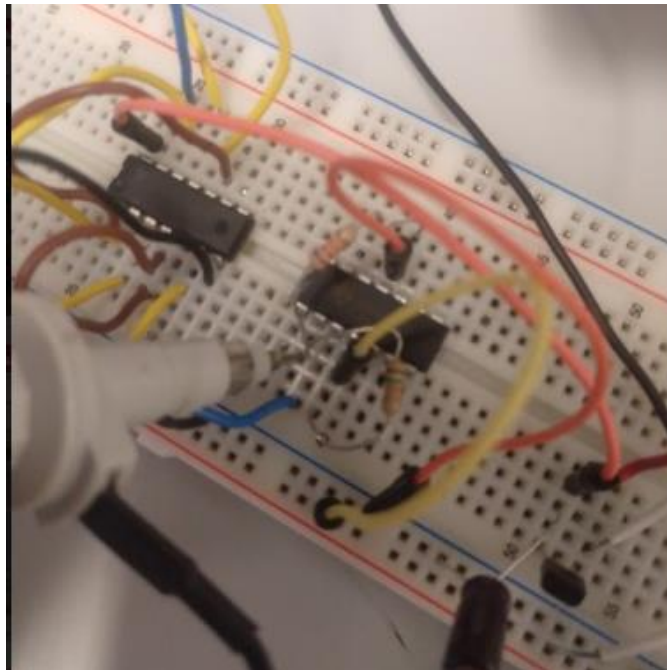


Figura 41. Medición de la tensión umbral

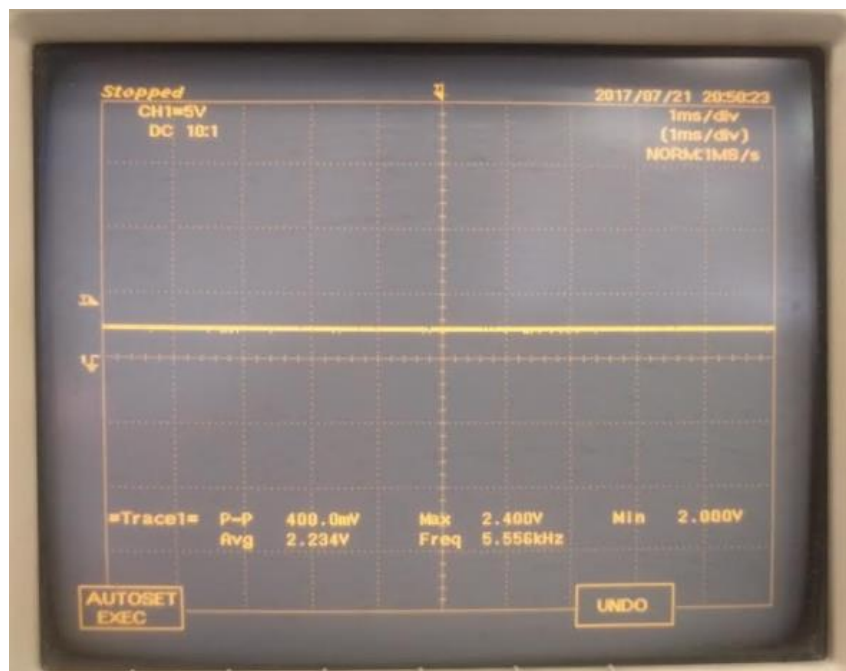


Figura 42. Señal de la tensión umbral



Circuito de interfaz capacitivo basado en descarga periódica con oscilador en anillo.

La señal de la pata positiva del comparador:

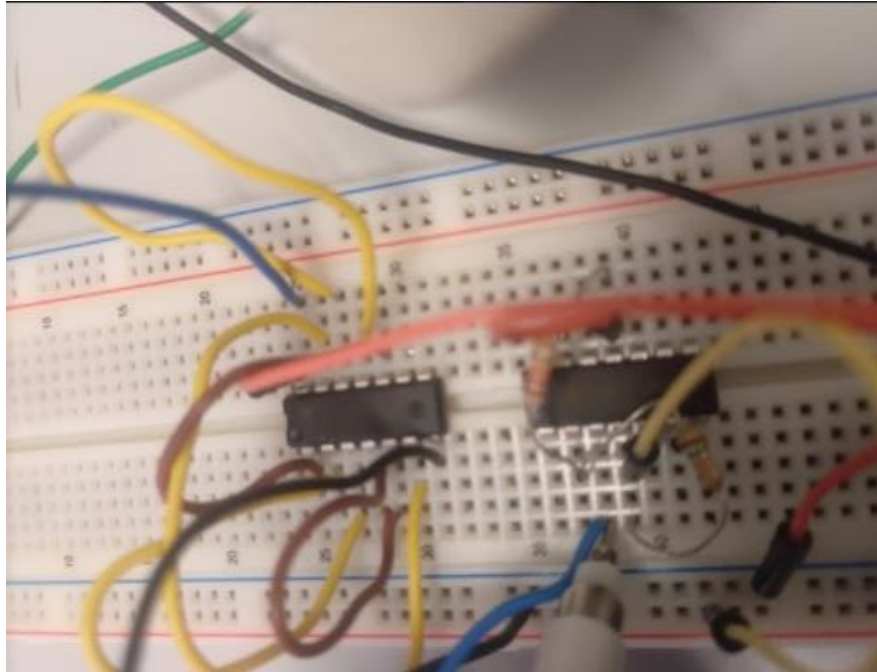


Figura 43. Medición de la pata positiva del comparador

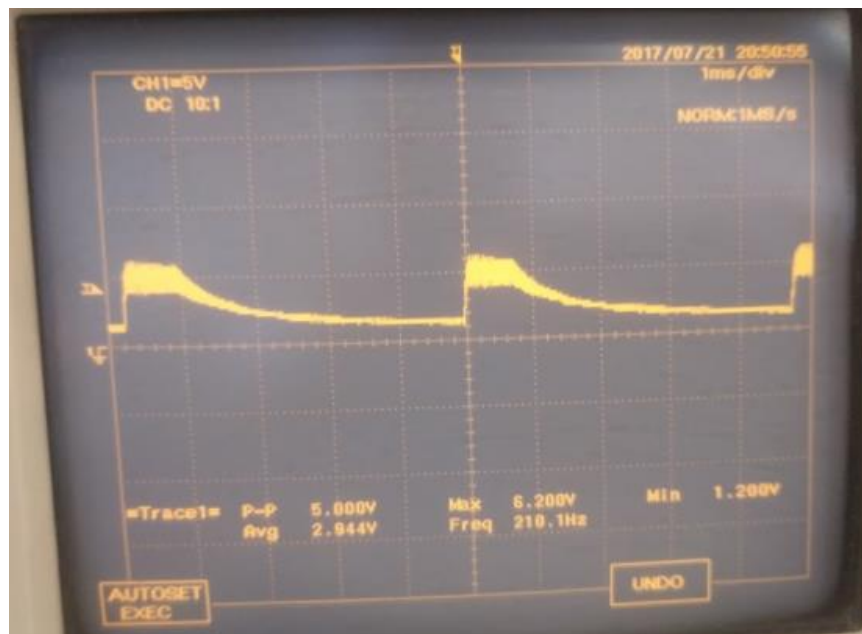


Figura 44. Señal de la pata positiva del comparador



Circuito de interfaz capacitivo basado en descarga periódica con oscilador en anillo.

La salida del comparador:

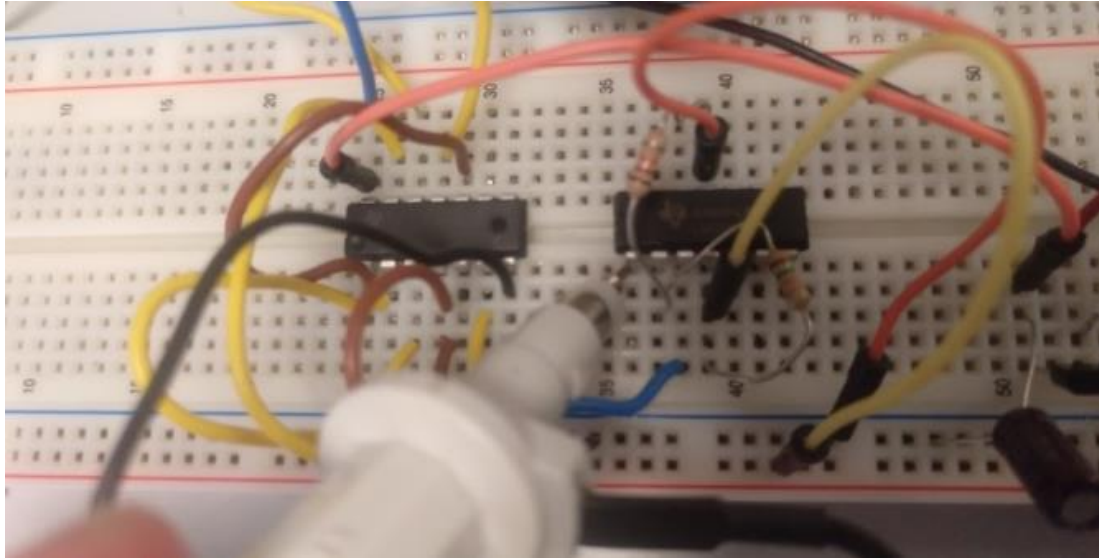


Figura 45. Medición de la salida del comparador

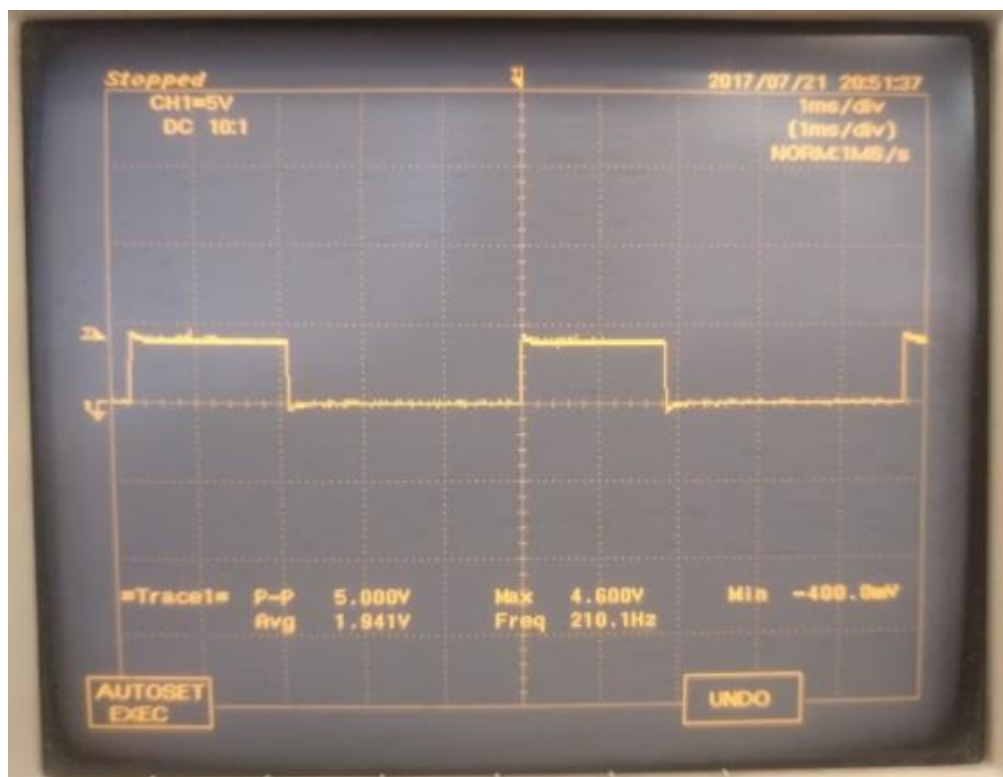


Figura 46. Señal de la salida del comparador



La señal de oscilación constante en la que se puede apreciar como dato más relevante la frecuencia de la señal (8,333kHz):

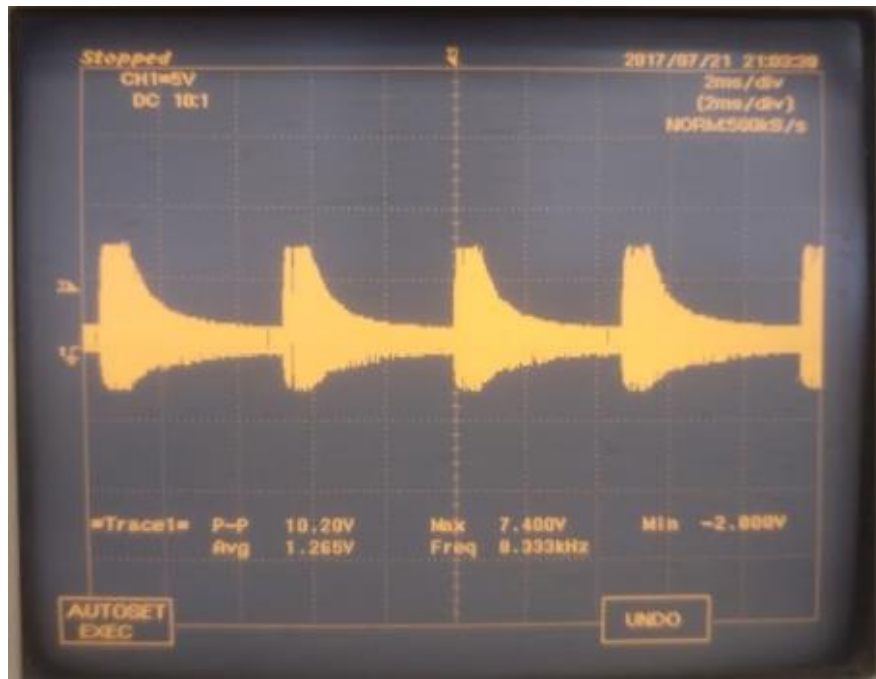


Figura 47. Señal de oscilación y medida de su frecuencia

5.2 – Diseño de la placa PCB.

5.2.1 – Esquemático.

Se ha usado el programa llamado EAGLE. Lo primero es crear el esquemático en el que se seleccionan los componentes y se unen los cables en los pines correspondientes para posteriormente comprobar todas las conexiones. Una vez se ha realizado el montaje y el conexionado se dan valores a los elementos (las resistencias en este caso) y se nombran los elementos del sistema y los cables para una mejor compresión del esquema.

Se han puesto tres conectores de dos pines:

- Uno para la alimentación del circuito que irá conectado a 5v y a tierra.
- Uno para la señal que viene del generador de funciones y su toma de tierra.
- Uno para introducir un condensador, se ha decidido poner un conector en vez de un condensador en concreto para poder utilizar varios



Circuito de interfaz capacitivo basado en descarga periódica con oscilador en anillo.

condensadores de diferentes capacidades, y así poder realizar varias pruebas en vez de una sola.

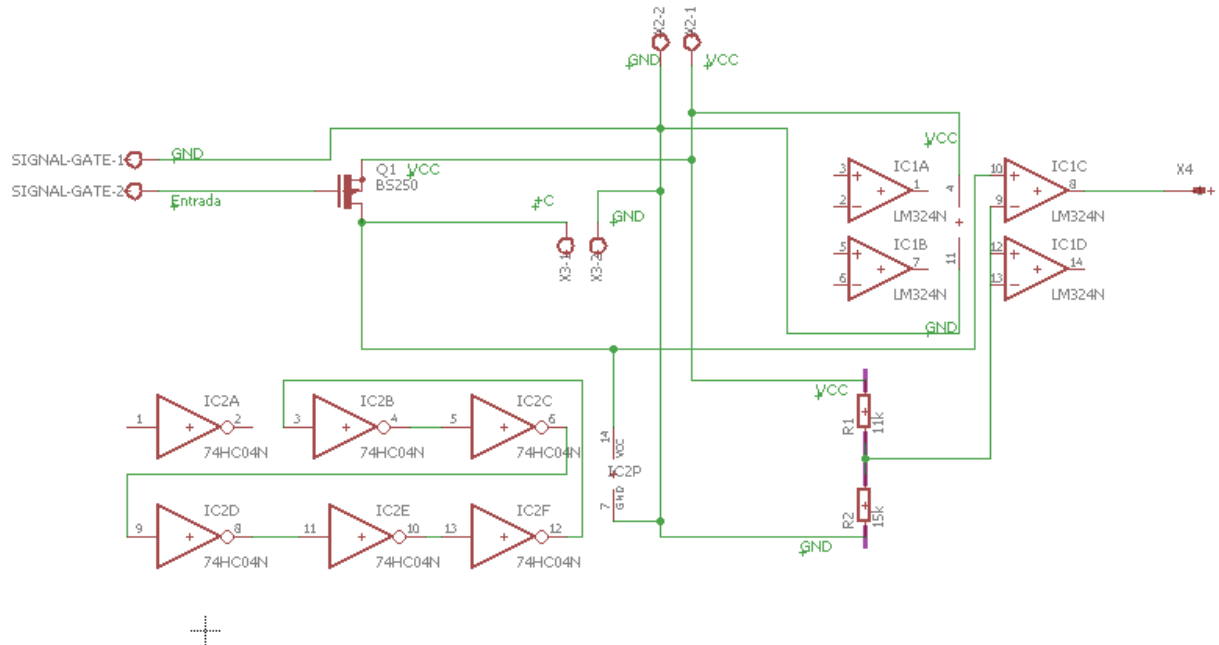


Figura 48. Esquemático del circuito

5.2.2 – Layout.

Una vez se ha confirmado que el esquemático está correcto se procede a montar la placa PCB.

Primero se colocan los elementos de tal forma que ocupen el menor espacio posible y consiguiendo que no se solapen las conexiones.



Circuito de interfaz capacitivo basado en descarga periódica con oscilador en anillo.

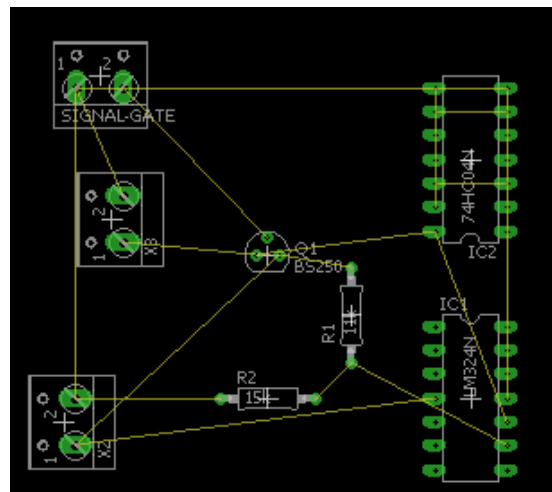


Figura 49. Layout1

A continuación, se procede a rutar las conexiones. [15] Para un mejor funcionamiento se cambia el tamaño de las pistas de alimentación y para una mejor comprensión de la placa se etiquetan las pistas. Por último preparamos los PDF que nos servirán para hacer la impresión en el laboratorio.

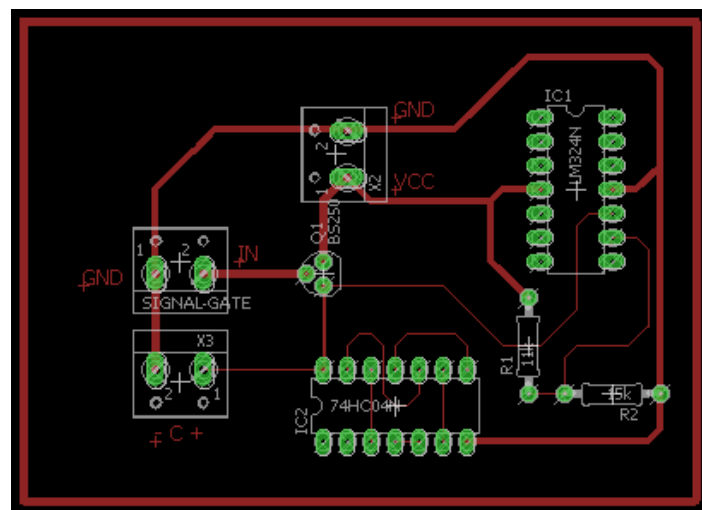


Figura 50. PDF1



Circuito de interfaz capacitivo basado en descarga periódica con oscilador en anillo.

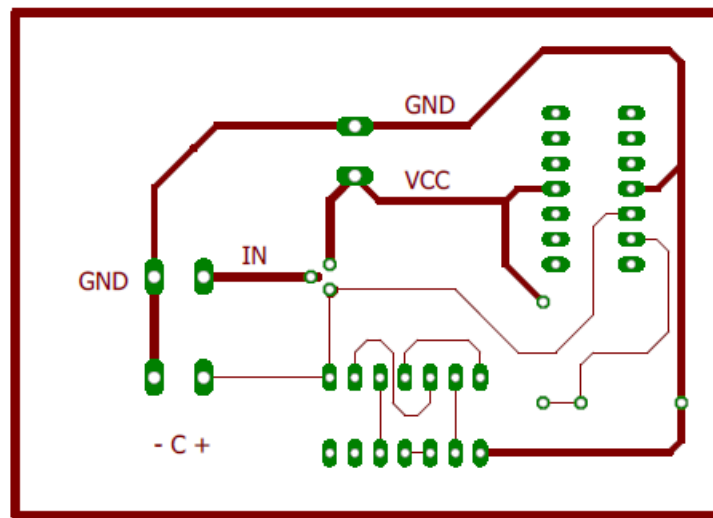


Figura 51 PDF2.

5.2.3 – PCB.

Finalmente, una vez se ha imprimido la placa PCB, se taladra, se sueldan los componentes y se prueba la continuidad de las pistas.

Con esta placa se realizan las mismas mediciones que se realizaron en la protoboard y se comprueba el correcto funcionamiento.

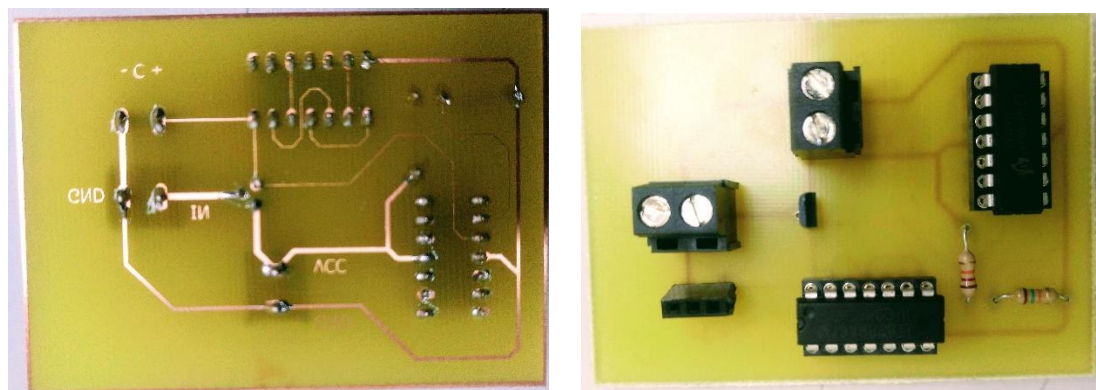


Figura 52.PCB



Capítulo 6: PLANIFICACIÓN Y PRESUPUESTO.



6.1 – Planificación.

A continuación, se muestran las fases en las que se ha dividido la realización del proyecto.

Fase 1: Documentación inicial y preparación del material.

1. Asistencia a tutoría para explicación del proyecto. (2h)
2. Revisión de la explicación del proyecto en casa y planteo dudas. (10h)
3. Tutoría de resolución de dudas. (2h)
4. Descarga de programas como el LT-SPICE y el EAGLE. (2h)
5. Compra del material necesario para el montaje en el laboratorio. (5h)

Fase 2: Desarrollo del circuito en LT-SPICE

1. Estudio del funcionamiento del programa. (20h)
2. Estudio del circuito propuesto. (20h)
3. Simulación del circuito propuesto. (10h)

Fase 3: Desarrollo del circuito en el laboratorio

1. Montaje del circuito en el laboratorio. (15h)
2. Tutoría con el profesor en el laboratorio para el correcto funcionamiento del circuito completo. (3h)
3. Medidas con el osciloscopio. (2h)

Fase 4: Desarrollo de la PCB mediante el programa EAGLE

1. Estudio del funcionamiento del programa. (10h)
2. Diseño del esquemático. (10h)
3. Diseño del Layout. (10h)
4. Imprimir la PCB, taladrar, soldar y probar en el laboratorio. (5h)

Fase 5: Elaboración de la memoria y preparación de lectura

1. Redacción de la memoria. (130h)
2. Tutoría para revisar la memoria. (4h)
3. Corrección e impresión del documento. (4h)
4. Preparación de las diapositivas. (10h)
5. Preparación de la exposición. (20h)



Circuito de interfaz capacitivo basado en descarga periódica con oscilador en anillo.

6.2 – Diagrama de gantt.

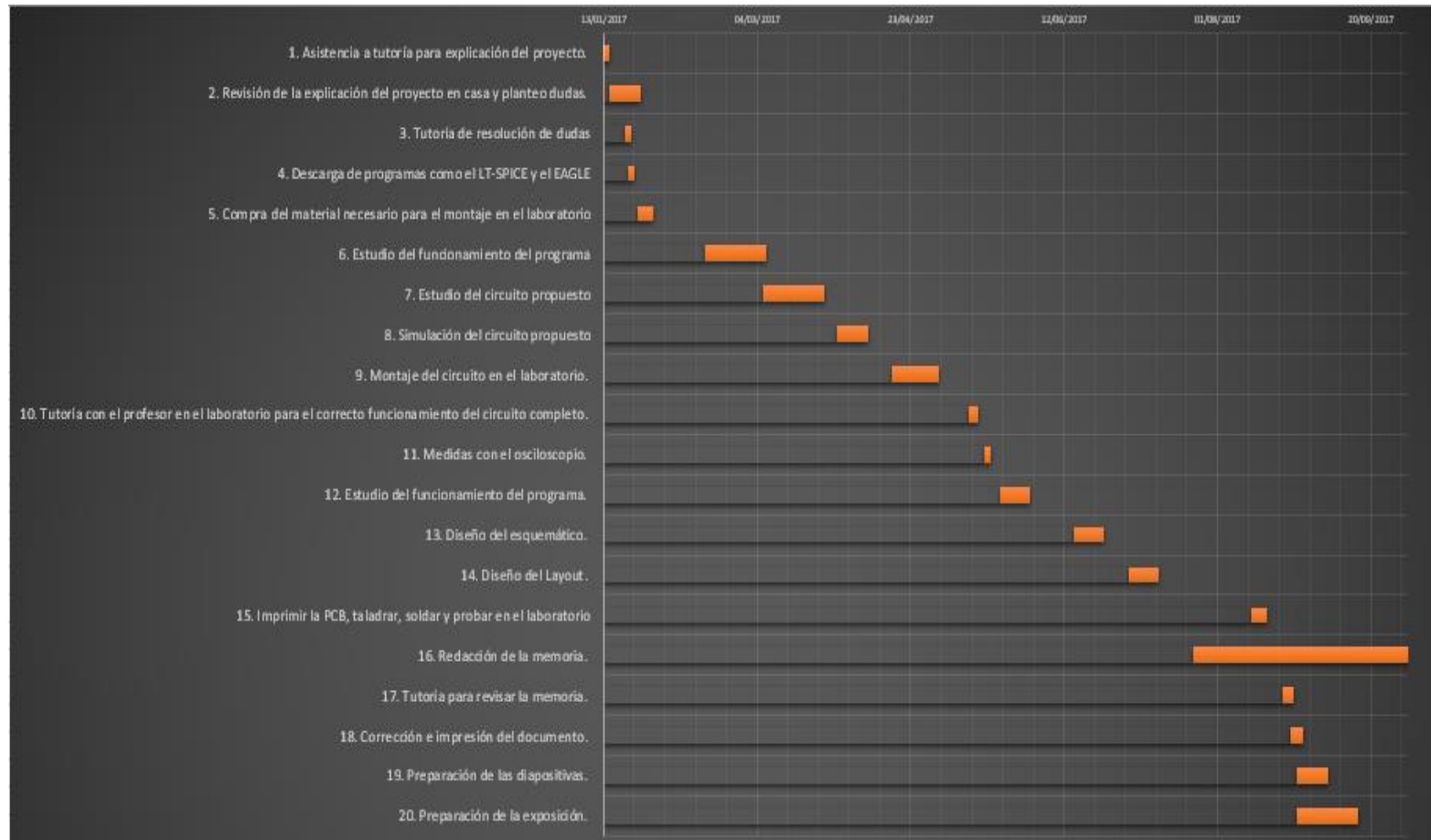


Figura 53. Diagrama de Gantt



6.3 – Planificación de fechas.

	20. Preparación de la exposición.	19. Preparación de las diapositivas.	18. Corrección e impresión del documento.	17. Tutoría para revisar la memoria.	16. Redacción de la memoria.
Fecha de inicio	27/08/2017	27/08/2017	25/08/2017	22/08/2017	24/07/2017
Duración (h)	20	10	4	4	130

15. Imprimir la PCB, taladrar, soldar y probar en el laboratorio	14. Diseño del Layout.	13. Diseño del esquemático.	12. Estudio del funcionamiento del programa.	11. Medidas con el osciloscopio.
12/08/2017	03/07/2017	15/06/2017	22/05/2017	17/05/2017
5	10	10	10	2

10. Tutoría con el profesor en el laboratorio para el correcto funcionamiento del circuito completo.	9. Montaje del circuito en el laboratorio.	8. Simulación del circuito propuesto	7. Estudio del circuito propuesto	6. Estudio del funcionamiento del programa
12/05/2017	17/04/2017	30/03/2017	06/03/2017	15/02/2017
3	15	10	20	20

5. Compra del material necesario para el montaje en el laboratorio	4. Descarga de programas como el LT-Spice y el Eagle	3. Tutoría de resolución de dudas	2. Revisión de la explicación del proyecto en casa y planteo dudas.	1. Asistencia a tutoría para explicación del proyecto.
24/01/2017	21/01/2017	20/01/2017	15/01/2017	13/01/2017
5	2	2	10	2

Tabla 1. Planificación del proyecto



6.4 – Presupuesto.

El coste total del proyecto sumando la parte material y la personal son 6030,85€.

En este presupuesto no se han tenido en cuenta algunos costes que en otros proyectos similares si tendrían que tenerse en cuenta si fueran necesarios: ordenador de altas prestaciones, licencia de los programas a utilizar, luz o internet.

6.4.1 – Material.

En la siguiente tabla se muestran la lista de componentes que se han comprado para la realización del montaje en el laboratorio.

No de todos los componentes era necesaria esa cantidad, pero por si alguno venía defectuoso o se estropeaba se ha comprado más de uno. Además, en el caso de las resistencias no se venden en unidades.

El importe total ha sido TREINTA EUROS CON OCHENTA Y CINCO CÉNTIMOS.

COMPONENTE	PRECIO(€)	CANTIDAD	IMPORTE(€)
Resistencia 11k	0,06	3	0,18
Resistencia 15k	0,06	3	0,18
LM324	3,42	2	6,84
BS250P	2,75	5	13,75
Condensador 4,7uF	0,1	5	0,5
Condensador 47uF	0,1	5	0,5
Condensador 47mF	0,1	5	0,5
74HC04	0,2	2	0,4
Protoboard	8	1	8
Cable unipolar	0,5	1	0,5
TOTAL			30,85

Tabla 2. Importe de los materiales



6.4.2 – Personal y otros

En la siguiente tabla se muestran la lista de los demás gastos que supone la realización del proyecto.

Se ha necesitado un laboratorio en el que realizar las prácticas que disponía de elementos como un entrenador, una fuente de tensión, un polímetro y un osciloscopio. Además, el gasto del laboratorio conlleva el uso de la luz y una persona encargada de abrirlo, cerrarlo y vigilarlo.

También se ha necesitado el tiempo y la dedicación del profesor que ha llevado el proyecto tanto en las tutorías como en el laboratorio.

En esta lista también están las horas que dedica el alumno para su realización

El importe total ha sido SEIS MIL EUROS.

CONCEPTO	PRECIO(€)	HORAS	IMPORTE(€)
Laboratorio	10	25	250
Profesor	25	50	1250
Alumno	15	300	4500
TOTAL			6000

Tabla 3. Importe de personal y otros



Capítulo 7: CONCLUSIONES Y FUTURAS MEJORAS.



Para finalizar este trabajo vamos a dar sentido a todo el trabajo realizado y se van a exponer las conclusiones a las que hemos llegado.

Después de varios años de estudiar el grado de electrónica industrial una buena manera de terminar ha sido realizar este proyecto en el que se recogen conocimientos de la gran mayoría de las asignaturas. Además, nos hemos sumergido más aún en el gran y actual mundo de los sensores, en concreto los que funcionan con un componente básico y presente en la gran mayoría de circuitos hoy en día como es el condensador.

Se propuso realizar el montaje y la medición de un circuito interfaz capacitivo basado en la descarga periódica con oscilador en anillo y se ha realizado con éxito consiguiendo el correcto montaje en el laboratorio y comprobándolo con las señales que nos daba el osciloscopio.

Además, ha servido para investigar ampliamente en un tema tan moderno como es el de los MEMS [14].

También se han utilizado dos programas básicos para todo ingeniero electrónico muy potentes y de software libre similares a los utilizados en algunas asignaturas durante el grado:

1º) LT-SPICE: Un programa muy útil para el montaje del esquemático y la simulación de los circuitos, el cual nos ha planteado varios problemas a resolver debido a que no tiene algunos componentes integrados.

2º) EAGLE: Programa muy útil para el montaje del esquemático y la posterior edición para crear el Layout y archivo para posteriormente montar la PCB impresa.

Como futuras mejoras y es una pena no haber tenido tiempo y conseguido realizarlo sería montar el circuito completo tal y cómo se esperaba, es decir, con el contador para obtener el tiempo para contar las oscilaciones y el fin de carrera de este para volver a accionar la puerta del transistor en vez de usar el generador de funciones.

Por último, sería interesante realizar con un circuito o con un microprocesador con display que nos aportara la capacidad del condensador aproximada según la cantidad de oscilaciones en el tiempo del contador.




Circuito de interfaz capacitivo basado en descarga periódica
con oscilador en anillo.

Capítulo 8: ANEXOS.



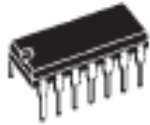
8.1 Datasheet LM324N




LM124
LM224 - LM324

LOW POWER QUAD OPERATIONAL AMPLIFIERS


- **WIDE GAIN BANDWIDTH** : 1.3MHz
- **INPUT COMMON-MODE VOLTAGE RANGE** INCLUDES GROUND
- **LARGE VOLTAGE GAIN** : 100dB
- **VERY LOW SUPPLY CURRENT/AMPLI** : 375µA
- **LOW INPUT BIAS CURRENT** : 20nA
- **LOW INPUT OFFSET VOLTAGE** : 5mV max.
(for more accurate applications, use the equivalent parts LM124A-LM224A-LM324A, which feature 3mV max)
- **LOW INPUT OFFSET CURRENT** : 2nA
- **WIDE POWER SUPPLY RANGE** :
SINGLE SUPPLY : +3V TO +30V
DUAL SUPPLIES : ±1.5V TO ±15V



N
DIP14
(Plastic Package)



D
SO14
(Plastic Micropackage)



P
TSSOP14
(Thin Shrink Small Outline Package)

DESCRIPTION

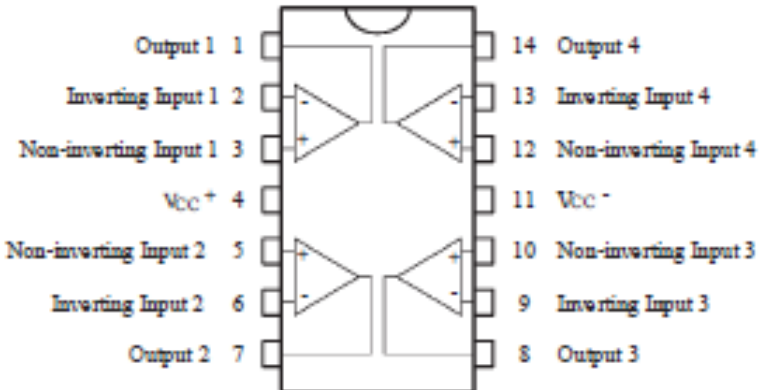
These circuits consist of four independent, high gain, internally frequency compensated operational amplifiers. They operate from a single power supply over a wide range of voltages. Operation from split power supplies is also possible and the low power supply current drain is independent of the magnitude of the power supply voltage.

ORDER CODES

Part Number	Temperature Range	Package		
		N	D	P
LM124	-55°C, +125°C	•	•	•
LM224	-40°C, +105°C	•	•	•
LM324	0°C, +70°C	•	•	•

Example : LM224N

PIN CONNECTIONS (top view)



Output 1	1	14	Output 4
Inverting Input 1	2	13	Inverting Input 4
Non-inverting Input 1	3	12	Non-inverting Input 4
V _{cc} +	4	11	V _{cc} -
Non-inverting Input 2	5	10	Non-inverting Input 3
Inverting Input 2	6	9	Inverting Input 3
Output 2	7	8	Output 3

June 1999

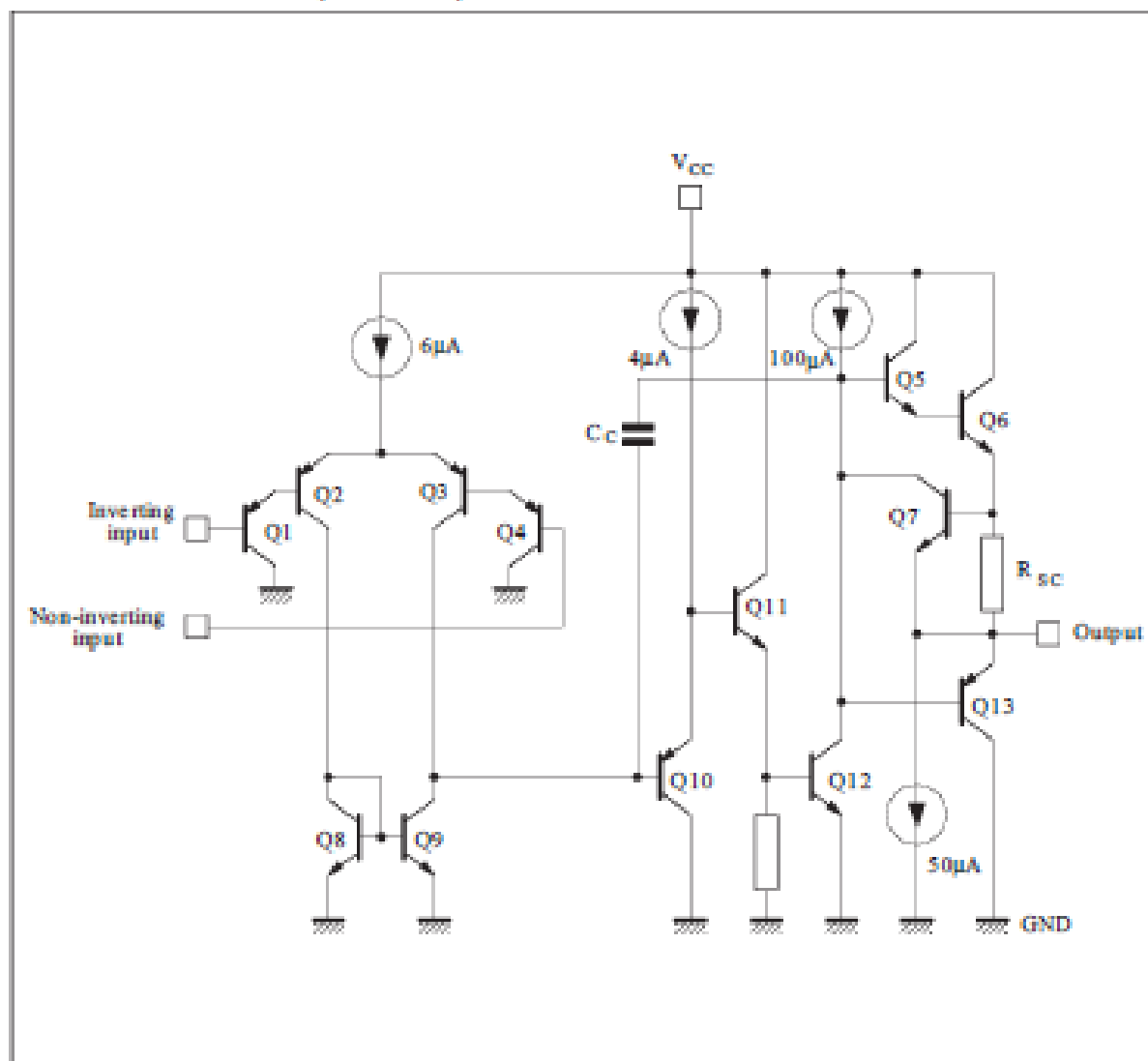
1/14



Circuito de interfaz capacitivo basado en descarga periódica
con oscilador en anillo.

LM124 - LM224 - LM324

SCHEMATIC DIAGRAM (1/4 LM124)



ABSOLUTE MAXIMUM RATINGS

Symbol	Parameter	LM124	LM224	LM324	Unit
V_{CC}	Supply Voltage	± 15 or 32			V
V_I	Input Voltage	-0.3 to +32			V
V_{id}	Differential Input Voltage - (°)	+32	+32	+32	V
P_{tot}	Power Dissipation	500	500	500	mW
	N Suffix	-	400	400	mW
-	Output Short-circuit Duration - (note 1)	Infinite			
I_{in}	Input Current - (note 5)	50	50	50	mA
T_{oper}	Operating Free Air Temperature Range	-55 to +125	-40 to +105	0 to +70	°C
T_{stg}	Storage Temperature Range	-65 to +150	-65 to +150	-65 to +150	°C

LM124 - LM224 - LM324

ELECTRICAL CHARACTERISTICS

$V_{CC}^+ = +5V$, $V_{CC}^- = \text{Ground}$, $V_O = 1.4V$, $T_{amb} = +25^\circ C$ (unless otherwise specified)

Symbol	Parameter	LM124 - LM224 - LM324			Unit
		Min.	Typ.	Max.	
V_{io}	Input Offset Voltage (note 3) $T_{amb} = +25^\circ C$ LM324 $T_{min.} \leq T_{amb} \leq T_{max.}$ LM324		2	5 7 7 9	mV
I_{io}	Input Offset Current $T_{amb} = +25^\circ C$ $T_{min.} \leq T_{amb} \leq T_{max.}$		2	30 100	nA
I_b	Input Bias Current (note 2) $T_{amb} = +25^\circ C$ $T_{min.} \leq T_{amb} \leq T_{max.}$		20	150 300	nA
A_{vd}	Large Signal Voltage Gain ($V_{CC}^+ = +15V$, $R_L = 2k\Omega$, $V_O = 1.4V$ to $11.4V$) $T_{amb} = +25^\circ C$ $T_{min.} \leq T_{amb} \leq T_{max.}$	50 25	100		V/mV
SVR	Supply Voltage Rejection Ratio ($R_S \leq 10k\Omega$) ($V_{CC} = 5V$ to $30V$) $T_{amb} = +25^\circ C$ $T_{min.} \leq T_{amb} \leq T_{max.}$	65 65	110		dB
I_{CC}	Supply Current, all Amp, no load $T_{amb} = +25^\circ C$ $V_{CC} = +5V$ $V_{CC} = +30V$ $T_{min.} \leq T_{amb} \leq T_{max.}$ $V_{CC} = +5V$ $V_{CC} = +30V$		0.7 1.5 0.8 1.5	1.2 3 1.2 3	mA
V_{Icm}	Input Common Mode Voltage Range ($V_{CC} = +30V$) - (note 4) $T_{amb} = +25^\circ C$ $T_{min.} \leq T_{amb} \leq T_{max.}$	0 0		$V_{CC} - 1.5$ $V_{CC} - 2$	V
CMR	Common-mode Rejection Ratio ($R_G \leq 10k\Omega$) $T_{amb} = +25^\circ C$ $T_{min.} \leq T_{amb} \leq T_{max.}$	70 60	80		dB
I_{source}	Output Current Source ($V_O = +1V$) $V_{CC} = +15V$, $V_S = +2V$	20	40	70	mA
I_{sink}	Output Sink Current ($V_O = -1V$) $V_{CC} = +15V$, $V_S = +2V$ $V_{CC} = +15V$, $V_S = +0.2V$	10 12	20 50		mA μA

LM124 - LM224 - LM324

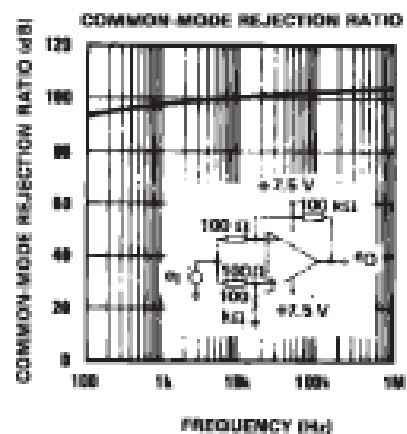
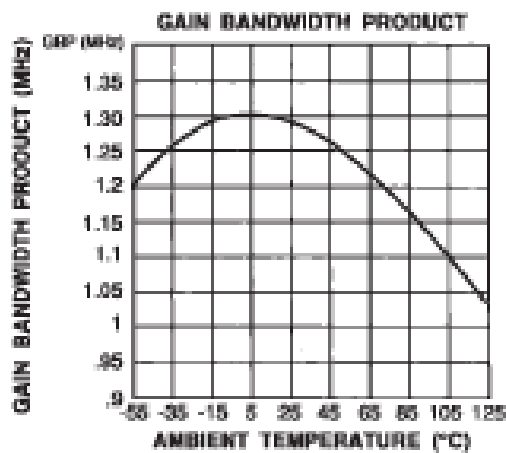
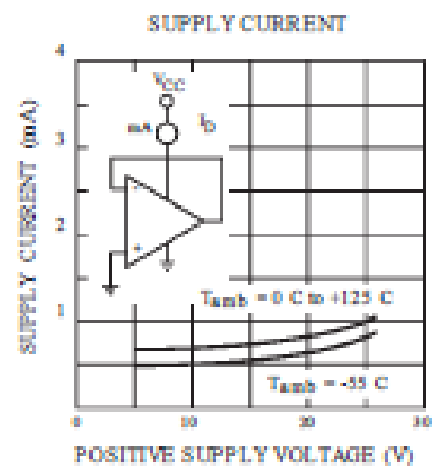
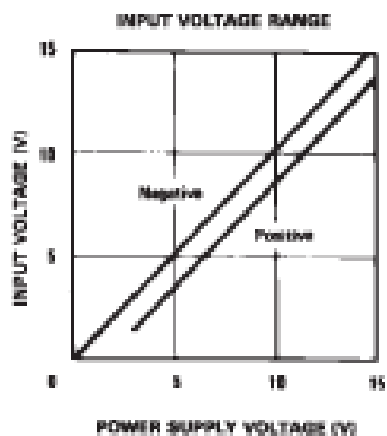
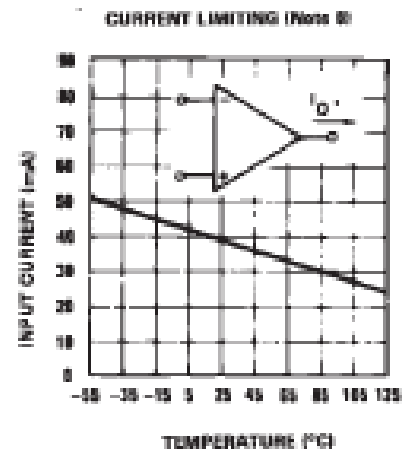
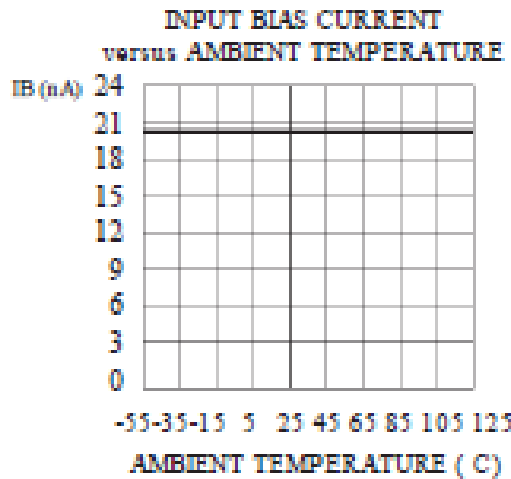
ELECTRICAL CHARACTERISTICS (continued)

Symbol	Parameter	LM124 - LM224 - LM324			Unit
		Min.	Typ.	Max.	
V_{OH}	High Level Output Voltage ($V_{CC} = +30V$) $T_{amb} = +25^{\circ}C$ $R_L = 2k\Omega$ $T_{min} \leq T_{amb} \leq T_{max}$ $T_{amb} = +25^{\circ}C$ $R_L = 10k\Omega$ $T_{min} \leq T_{amb} \leq T_{max}$ ($V_{CC} = +5V$, $R_L = 2k\Omega$) $T_{amb} = +25^{\circ}C$ $T_{min} \leq T_{amb} \leq T_{max}$	26 26 27 27	27 28		V
V_{OL}	Low Level Output Voltage ($R_L = 10k\Omega$) $T_{amb} = +25^{\circ}C$ $T_{min} \leq T_{amb} \leq T_{max}$		5	20 20	mV
SR	Slew Rate $V_{CC} = 15V$, $V_I = 0.5$ to $3V$, $R_L = 2k\Omega$, $C_L = 100pF$, unity gain)		0.4		V/ μs
GBP	Gain Bandwidth Product $V_{CC} = 30V$, $f = 100kHz$, $V_{in} = 10mV$ $R_L = 2k\Omega$, $C_L = 100pF$		1.3		MHz
THD	Total Harmonic Distortion $f = 1kHz$, $A_v = 20dB$, $R_L = 2k\Omega$, $V_o = 2V_{pp}$ $C_L = 100pF$, $V_{CC} = 30V$		0.015		%
e_n	Equivalent Input Noise Voltage $f = 1kHz$, $R_s = 100\Omega$, $V_{CC} = 30V$		40		$\frac{nV}{\sqrt{Hz}}$
DI_{IO}	Input Offset Voltage Drift		7	30	$\mu V/^{\circ}C$
DI_{IO}	Input Offset Current Drift		10	200	$pA/^{\circ}C$
$Vo1/Vo2$	Channel Separation (note 5) $1kHz \leq f \leq 20kHz$		120		dB

- Notes :
1. Short-circuits from the output to V_{CC} can cause excessive heating if $V_{CC} > 15V$. The maximum output current is approximately 40mA independent of the magnitude of V_{CC} . Destructive dissipation can result from simultaneous short-circuit on all amplifiers.
 2. The direction of the input current is out of the IC. This current is essentially constant, independent of the state of the output so no loading change exists on the input lines.
 3. $V_{in} = 1.4V$, $R_s = 0\Omega$, $5V < V_{CC} < 30V$, $0 < V_{in} < V_{CC} - 1.5V$
 4. The input common-mode voltage of either input signal voltage should not be allowed to go negative by more than 0.3V. The upper end of the common-mode voltage range is $V_{CC} - 1.5V$, but either or both inputs can go to +32V without damage.
 5. Due to the proximity of external components insure that coupling is not originating via stray capacitance between these external parts. This typically can be detected as this type of capacitance increases at higher frequencies.
 6. This input current only exists when the voltage at any of the input leads is driven negative. It is due to the collector-base junction of the input PNP transistor becoming forward biased and thereby acting as input diodes clamps. In addition to this diode action, there is also NPN parasitic action on the IC chip. this transistor action can cause the output voltages of the Op-amps to go to the V_{CC} voltage level (or to ground for a large overdrive) for the time duration than an input is driven negative.
This is not destructive and normal output will set up again for input voltage higher than -0.3V.



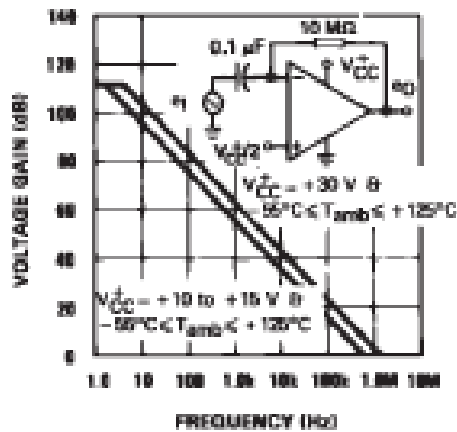
LM124 - LM224 - LM324



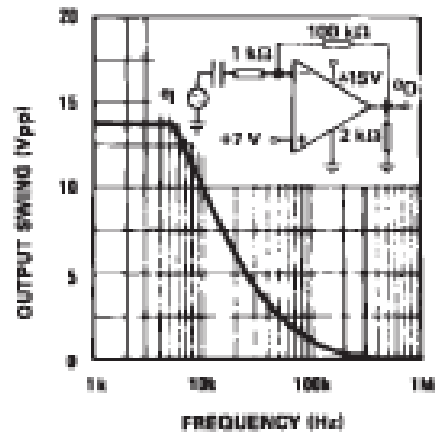


LM124 - LM224 - LM324

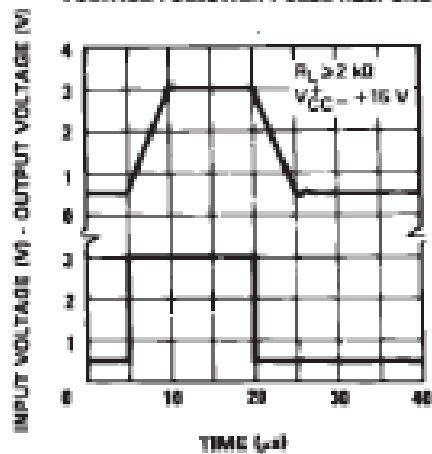
OPEN LOOP FREQUENCY RESPONSE



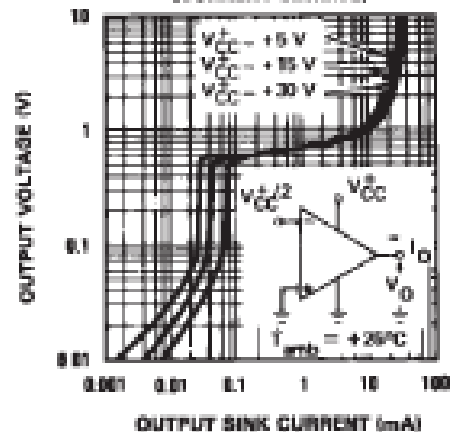
LARGE SIGNAL FREQUENCY RESPONSE



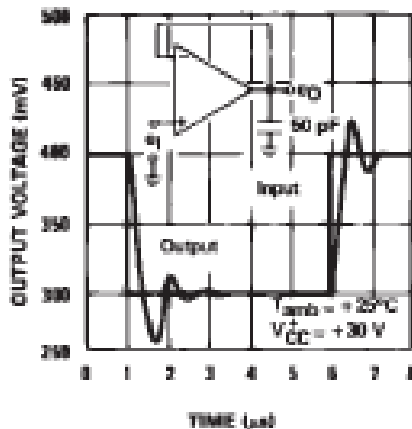
VOLTAGE FOLLOWER PULSE RESPONSE



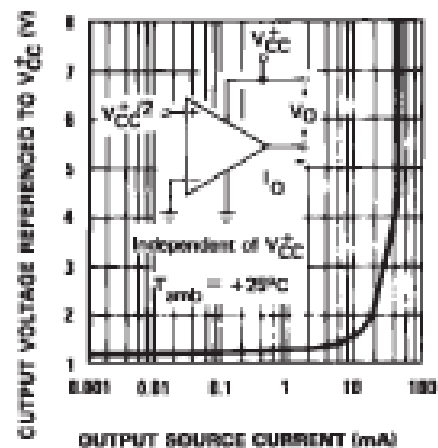
OUTPUT CHARACTERISTICS
(CURRENT SINKING)



VOLTAGE FOLLOWER PULSE RESPONSE
(SMALL SIGNAL)

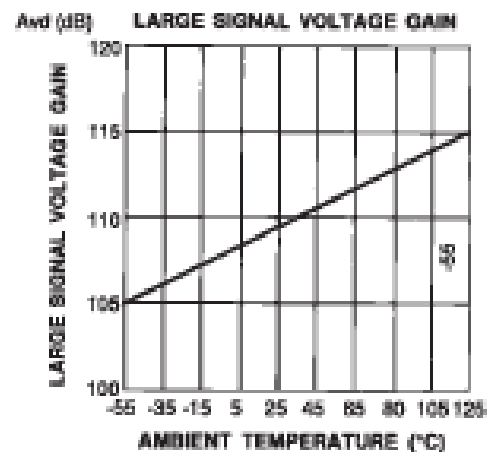
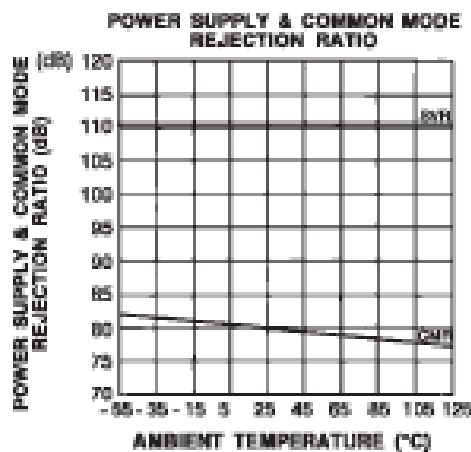
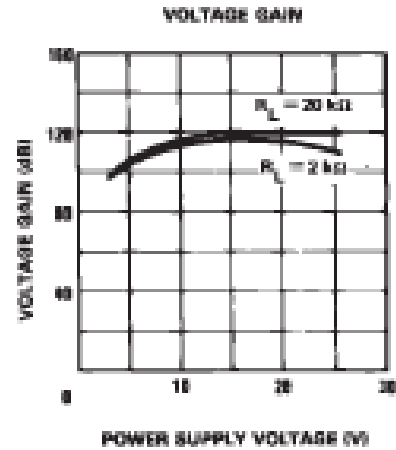
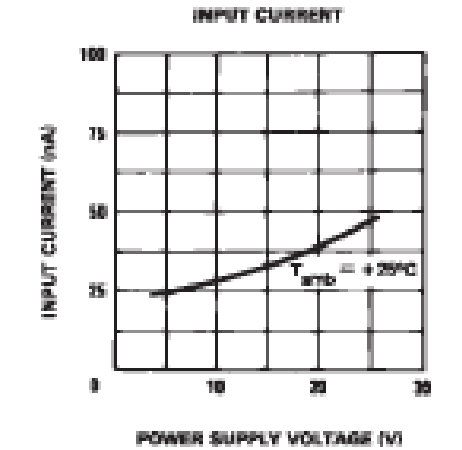


OUTPUT CHARACTERISTICS
(CURRENT SOURCING)



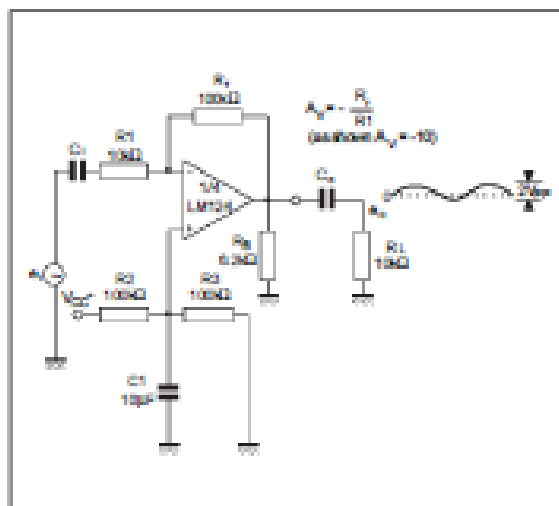


LM124 - LM224 - LM324

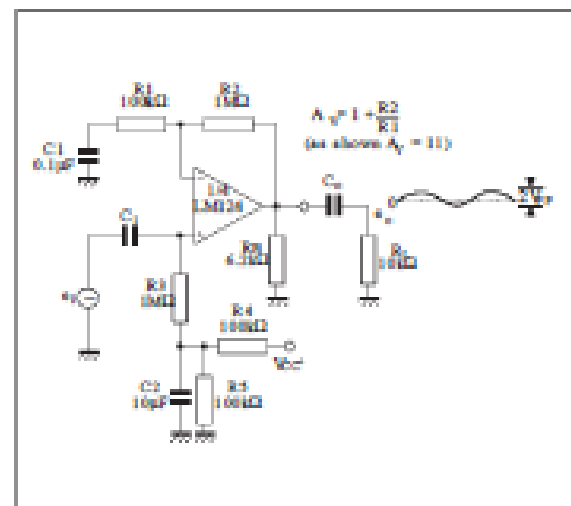


TYPICAL SINGLE - SUPPLY APPLICATIONS

AC COUPLED INVERTING AMPLIFIER



AC COUPLED NON-INVERTING AMPLIFIER

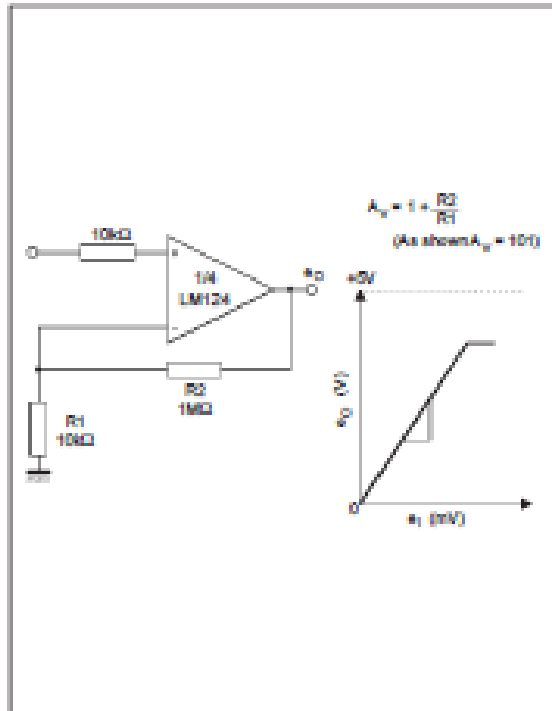




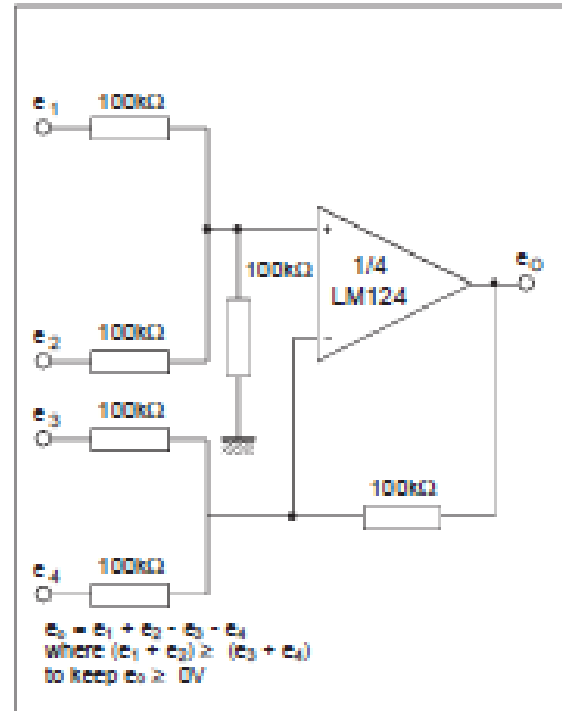
LM124 - LM224 - LM324

TYPICAL SINGLE - SUPPLY APPLICATIONS

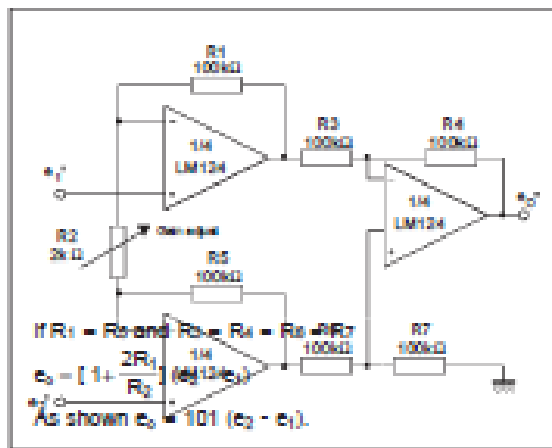
NON-INVERTING DC GAIN



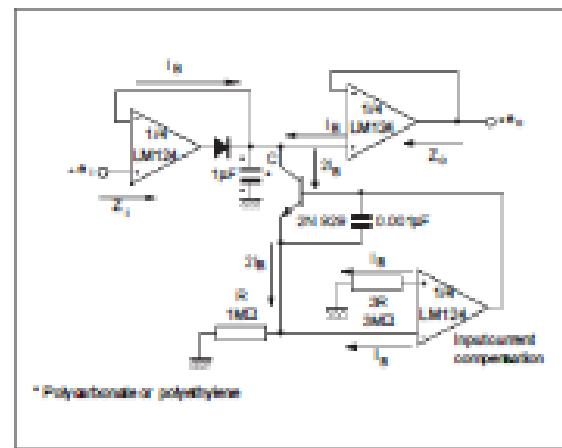
DC SUMMING AMPLIFIER



HIGH INPUT Z ADJUSTABLE GAIN DC INSTRUMENTATION AMPLIFIER

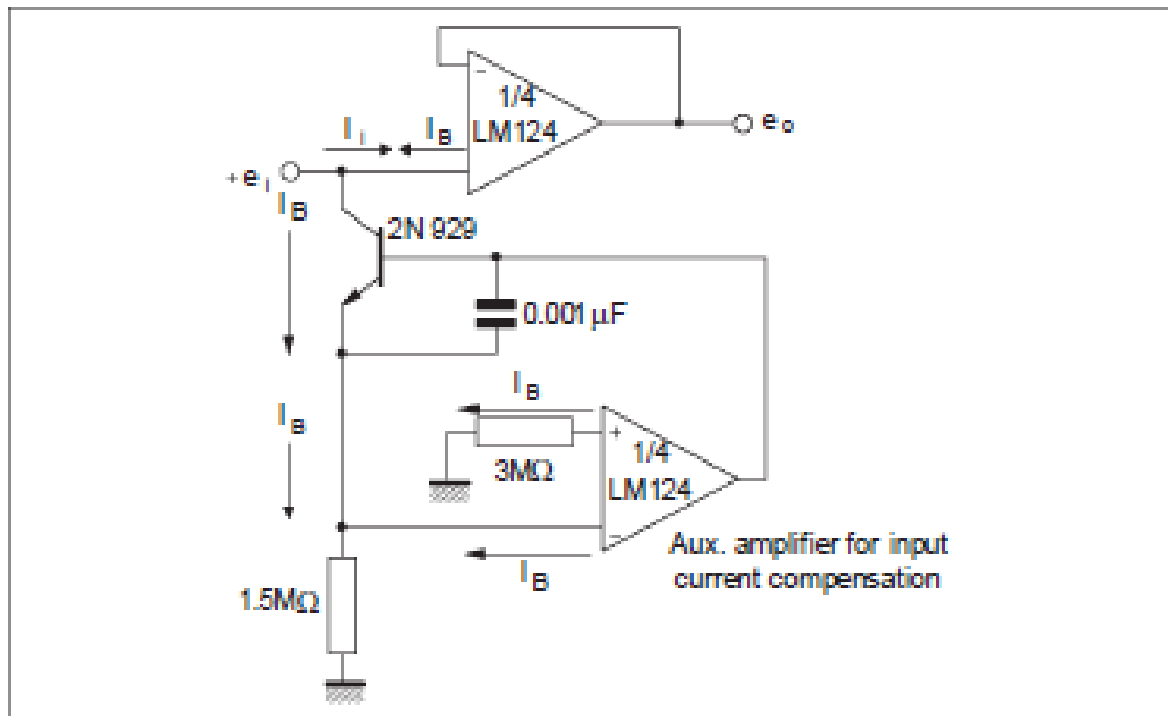


LOW DRIFT PEAK DETECTOR





USING SYMMETRICAL AMPLIFIERS TO REDUCE INPUT CURRENT (GENERAL CONCEPT)

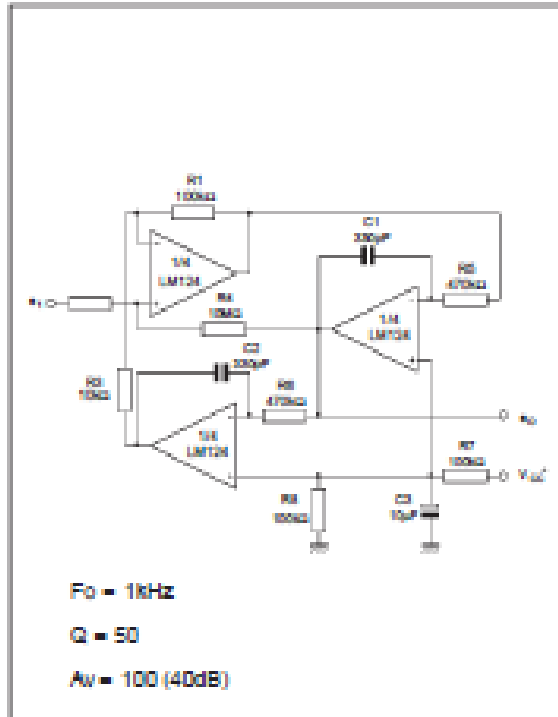




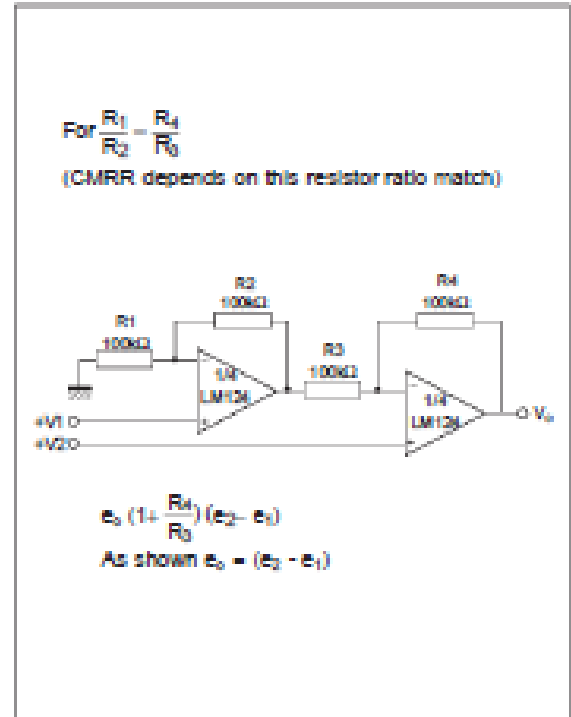
LM124 - LM224 - LM324

TYPICAL SINGLE - SUPPLY APPLICATIONS

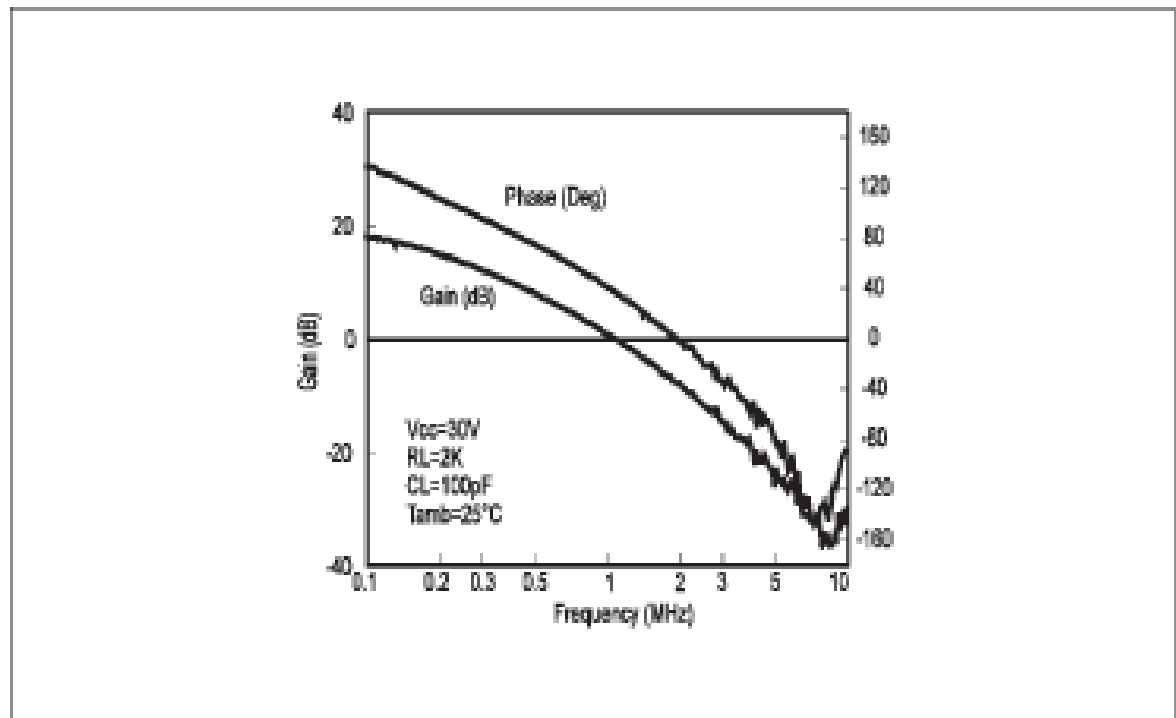
ACTIVE BANDPASS FILTER



HIGH INPUT Z, DC DIFFERENTIAL AMPLIFIER



VOLTAGE GAIN AND PHASE vs FREQUENCY





LM124 - LM224 - LM324

- LARGE VOLTAGE GAIN : 100dB
- VERY LOW SUPPLY CURRENT/AMPLI : 375 μ A
- LOW INPUT BIAS CURRENT : 20nA
- LOW INPUT OFFSET VOLTAGE : 2mV
- LOW INPUT OFFSET CURRENT : 2nA
- WIDE POWER SUPPLY RANGE :
SINGLE SUPPLY : +3V to +30V
DUAL SUPPLIES : ± 1.5 V to ± 15 V

Applies to : LM124-LM224-LM324

** Standard Linear Ics Macromodels, 1993.

** CONNECTIONS :

* 1 INVERTING INPUT

* 2 NONINVERTING INPUT

* 3 OUTPUT

* 4 POSITIVE POWER SUPPLY

* 5 NEGATIVE POWER SUPPLY

.SUBCKT LM124 1 3 2 4 5 (analog)

.MODEL MDTH D IS=1E-8 KF=3.104131E-15
CJO=10F

* INPUT STAGE

CIP 2 5 1.000000E-12

CIN 1 5 1.000000E-12

EIP 10 5 2 5 1

EIN 16 5 1 5 1

RIP 10 11 2.600000E+01

RIN 15 16 2.600000E+01

RIS 11 15 2.003862E+02

DIP 11 12 MDTH 400E-12

DIN 15 14 MDTH 400E-12

VOFP 12 13 DC 0

VOFN 13 14 DC 0

IPOLE 13 5 1.000000E-05

CPS 11 15 3.783376E-09

DINN 17 13 MDTH 400E-12

VIN 17 5 0.000000E+00

DINR 15 18 MDTH 400E-12

VIP 4 18 2.000000E+00

FCP 4 5 VOFP 3.400000E+01

FCN 5 4 VOFN 3.400000E+01

FIBP 2 5 VOFN 2.000000E-03

FIBN 5 1 VOFP 2.000000E-03

* AMPLIFYING STAGE

FIP 5 19 VOFP 3.600000E+02

FIN 5 19 VOFN 3.600000E+02

RG1 19 5 3.652997E+06

RG2 19 4 3.652997E+06

CC 19 5 6.000000E-09

DOPM 19 22 MDTH 400E-12

DONM 21 19 MDTH 400E-12

HOPM 22 28 VOUT 7.500000E+03

VIPM 28 4 1.500000E+02

HONM 21 27 VOUT 7.500000E+03

VINM 5 27 1.500000E+02

EOUT 26 23 19 5 1

VOUT 23 5 0

ROUT 26 3 20

COU 3 5 1.000000E-12

DOP 19 25 MDTH 400E-12

VOP 4 25 2.242230E+00

DON 24 19 MDTH 400E-12

VON 24 5 7.922301E-01

.ENDS

ELECTRICAL CHARACTERISTICS

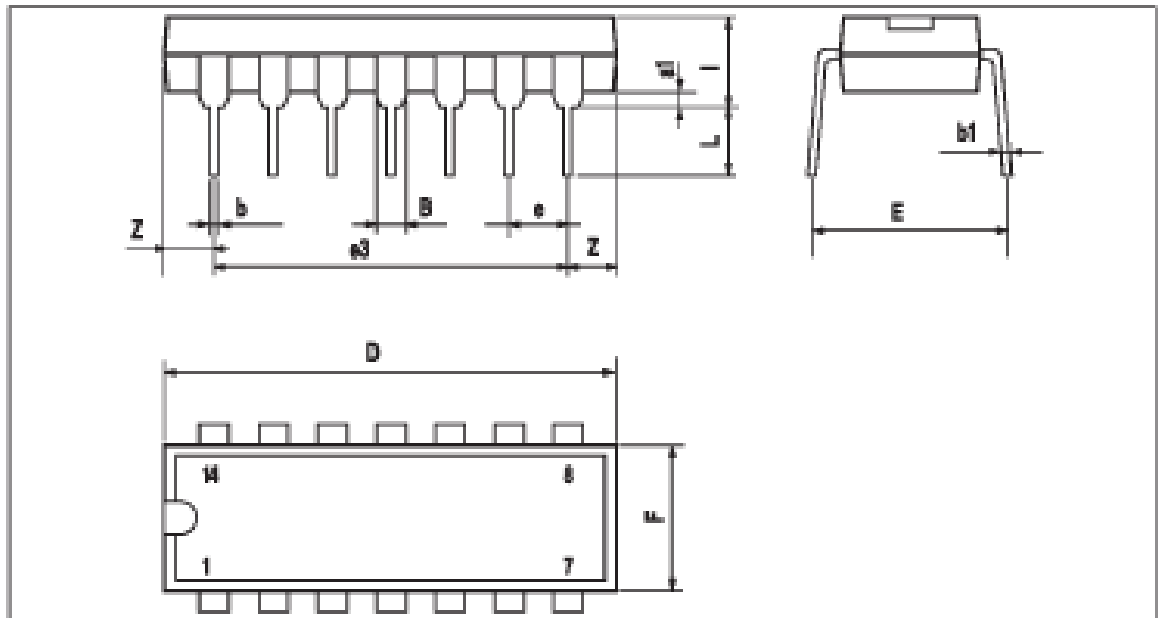
$V_{CC}^+ = +5V$, $V_{CC}^- = 0V$, $T_{amb} = 25^\circ C$ (unless otherwise specified)

Symbol	Conditions	Value	Unit
V_{io}		0	mV
A_{vd}	$R_L = 2k\Omega$	100	V/mV
I_{cc}	No load, per operator	350	μA
V_{icm}		-15 to +13.5	V
V_{OH}	$R_L = 2k\Omega$ ($V_{CC}^+ = 15V$)	+13.5	V
V_{OL}	$R_L = 10k\Omega$	5	mV
I_{os}	$V_o = +2V$, $V_{CC} = +15V$	+40	mA
GBP	$R_L = 2k\Omega$, $C_L = 100pF$	1.3	MHz
SR	$R_L = 2k\Omega$, $C_L = 100pF$	0.4	V/ μs



LM124 - LM224 - LM324

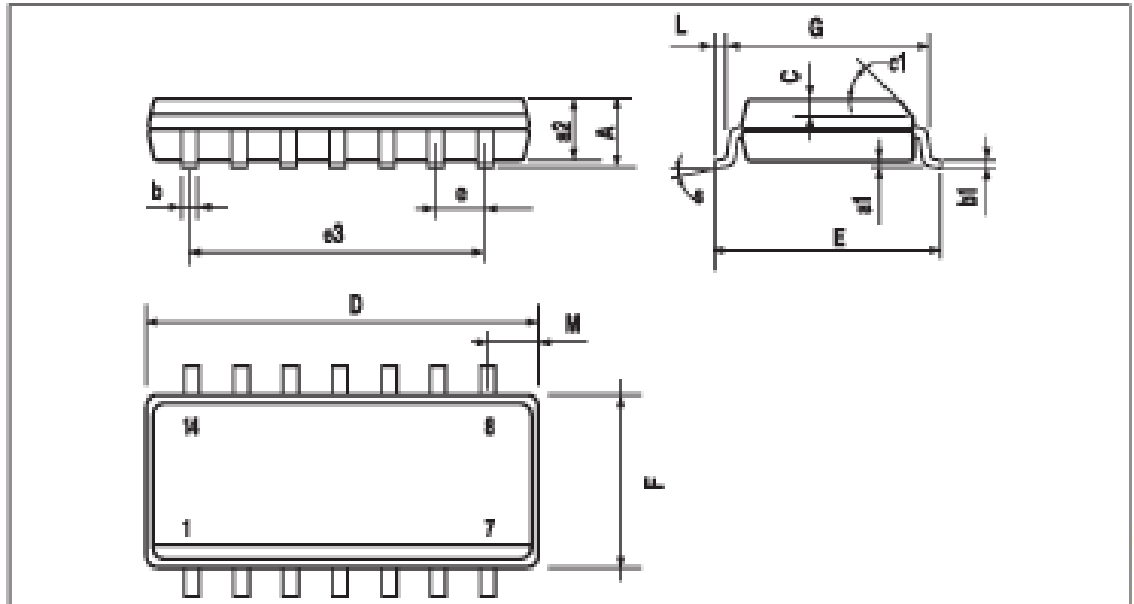
PACKAGE MECHANICAL DATA 14 PINS - PLASTIC DIP



Dimensions	Millimeters			Inches		
	Min.	Typ.	Max.	Min.	Typ.	Max.
a1	0.51			0.020		
B	1.39		1.65	0.055		0.065
b		0.5			0.020	
b1		0.25			0.010	
D			20			0.787
E		8.5			0.335	
e		2.54			0.100	
e3		15.24			0.600	
F			7.1			0.280
L			5.1			0.201
L		3.3			0.130	
Z	1.27		2.54	0.050		0.100

LM124 - LM224 - LM324

PACKAGE MECHANICAL DATA 14 PINS - PLASTIC MICROPACKAGE (SO)

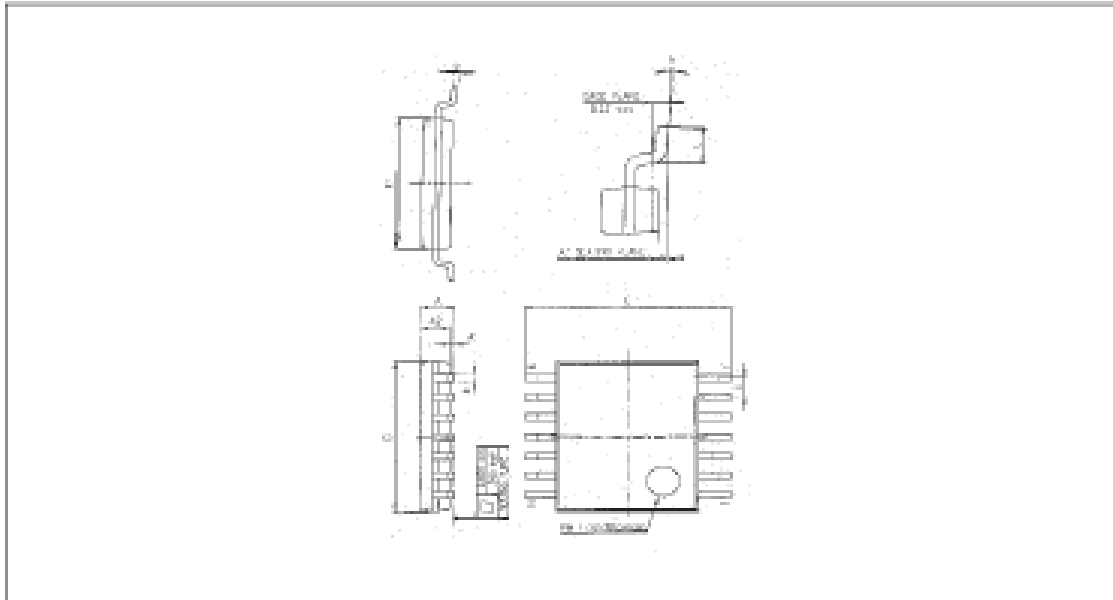


Dimensions	Millimeters			Inches		
	Min.	Typ.	Max.	Min.	Typ.	Max.
A			1.75			0.069
a1	0.1		0.2	0.004		0.008
a2			1.6			0.063
b	0.35		0.46	0.014		0.018
b1	0.19		0.25	0.007		0.010
C		0.5			0.020	
c1			45° (typ.)			
D	8.55		8.75	0.336		0.334
E	5.8		6.2	0.228		0.244
e		1.27			0.050	
e3		7.62			0.300	
F	3.8		4.0	0.150		0.157
G	4.6		5.3	0.181		0.208
L	0.5		1.27	0.020		0.050
M			0.68			0.027
S			8° (max.)			



LM124 - LM224 - LM324

PACKAGE MECHANICAL DATA 14 PINS - THIN SHRINK SMALL OUTLINE PACKAGE



Dim.	Millimeters			Inches		
	Min.	Typ.	Max.	Min.	Typ.	Max.
A			1.20			0.05
A1	0.05		0.15	0.01		0.006
A2	0.80	1.00	1.05	0.031	0.039	0.041
b	0.19		0.30	0.007		0.15
c	0.09		0.20	0.003		0.012
D	4.90	5.00	5.10	0.192	0.196	0.20
E		6.40			0.252	
E1	4.30	4.40	4.50	0.169	0.173	0.177
e		0.65			0.025	
k	0°		8°	0°		8°
l	0.50	0.60	0.75	0.09	0.0236	0.030

Information furnished is believed to be accurate and reliable. However, STMicroelectronics assumes no responsibility for the consequences of use of such information nor for any infringement of patents or other rights of third parties which may result from its use. No license is granted by implication or otherwise under any patent or patent rights of STMicroelectronics. Specifications mentioned in this publication are subject to change without notice. This publication supersedes and replaces all information previously supplied. STMicroelectronics products are not authorized for use as critical components in life support devices or systems without express written approval of STMicroelectronics.

© The ST logo is a trademark of STMicroelectronics

© 1999 STMicroelectronics - Printed in Italy - All Rights Reserved

STMicroelectronics GROUP OF COMPANIES

Australia - Brazil - Canada - China - France - Germany - Italy - Japan - Korea - Malaysia - Malta - Mexico - Morocco
The Netherlands - Singapore - Spain - Sweden - Switzerland - Taiwan - Thailand - United Kingdom - U.S.A.


© <http://www.st.com>





8.2 Datasheet 74HC04

MM74HC04 Hex Inverter



September 1983
Revised January 2005

MM74HC04 Hex Inverter

General Description

The MM74HC04 inverters utilize advanced silicon-gate CMOS technology to achieve operating speeds similar to LS-TTL gates with the low power consumption of standard CMOS integrated circuits.

The MM74HC04 is a triple buffered inverter. It has high noise immunity and the ability to drive 10 LS-TTL loads. The 74HC logic family is functionally as well as pin-out compatible with the standard 74LS logic family. All inputs are protected from damage due to static discharge by internal diode clamps to V_{CC} and ground.

Features

- Typical propagation delay: 8 ns
- Fan out of 10 LS-TTL loads
- Quiescent power consumption: 10 μ W maximum at room temperature
- Low input current: 1 μ A maximum

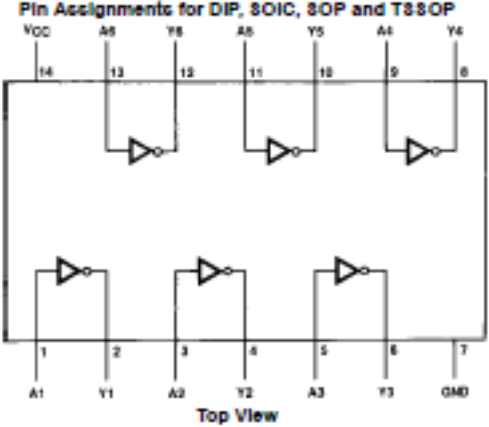
Ordering Code:

Order Number	Package Number	Package Description
MM74HC04M	M14A	14-Lead Small Outline Integrated Circuit (SOIC), JEDEC MS-012, 0.150" Narrow
MM74HC04M_NL		Pb-Free 14-Lead Small Outline Integrated Circuit (SOIC), JEDEC MS-012, 0.150" Narrow
MM74HC04SJ	M14D	Pb-Free 14-Lead Small Outline Package (SOP), EIAJ TYPE II, 5.3mm Wide
MM74HC04MTC	MTC-14	14-Lead Thin Shrink Small Outline Package (TSSOP), JEDEC MO-153, 4.4mm Wide
MM74HC04MTC_NL	MTC-14	Pb-Free 14-Lead Thin Shrink Small Outline Package (TSSOP), JEDEC MO-153, 4.4mm Wide
MM74HC04N	N14A	14-Lead Plastic Dual-In-Line Package (PDIP), JEDEC MS-001, 0.300" Wide
MM74HC04N_NL	N14A	Pb-Free 14-Lead Plastic Dual-In-Line Package (PDIP), JEDEC MS-001, 0.300" Wide

Devices also available in Tape and Reel. Specify by appending the suffix letter "X" to the ordering code.
Pb-Free package per JEDEC J-STD-020B.

Connection Diagram

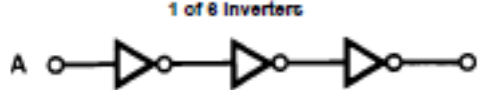
Pin Assignments for DIP, SOIC, SOP and TSSOP



Top View

Logic Diagram

1 of 6 Inverters



© 2005 Fairchild Semiconductor Corporation DS005069

www.fairchildsemi.com

Borja Cruz Amarilla

69



Circuito de interfaz capacitivo basado en descarga periódica
con oscilador en anillo.

MM74HC04

Absolute Maximum Ratings (Note 1)

(Note 2)

Supply Voltage (V_{CC})	-0.5 to +7.0V
DC Input Voltage (V_{IH})	-1.5 to $V_{CC} + 1.5V$
DC Output Voltage (V_{OUT})	-0.5 to $V_{CC} + 0.5V$
Clamp Diode Current (I_{IK}, I_{OK})	± 20 mA
DC Output Current, per pin (I_{OUT})	± 25 mA
DC V_{CC} or GND Current, per pin (I_{CC})	± 50 mA
Storage Temperature Range (T_{STG})	-65°C to +150°C
Power Dissipation (P_D)	
(Note 3)	600 mW
S.O. Package only	500 mW
Lead Temperature (T_L)	
(Soldering 10 seconds)	260°C

Recommended Operating Conditions

	Min	Max	Units
Supply Voltage (V_{CC})	2	6	V
DC Input or Output Voltage (V_{IH}, V_{OUT})	0	V_{CC}	V
Operating Temperature Range (T_A)	-40	+85	°C
Input Rise or Fall Times (t_r, t_f) $V_{CC} = 2.0V$		1000	ns
$V_{CC} = 4.5V$		500	ns
$V_{CC} = 6.0V$		400	ns

Note 1: Absolute Maximum Ratings are those values beyond which damage to the device may occur.

Note 2: Unless otherwise specified all voltages are referenced to ground.

Note 3: Power Dissipation temperature derating — plastic "N" package: — 12 mW/°C from 65°C to 85°C.

DC Electrical Characteristics (Note 4)

Symbol	Parameter	Conditions	V _{CC}	T _A = 25°C		T _A = -40 to 85°C	T _A = -55 to 125°C	Units
				Typ	Guaranteed Limits			
V _{IH}	Minimum HIGH Level Input Voltage		2.0V		1.5	1.5	1.5	V
			4.5V		3.15	3.15	3.15	V
			6.0V		4.2	4.2	4.2	V
V _{IL}	Maximum LOW Level Input Voltage		2.0V		0.5	0.5	0.5	V
			4.5V		1.35	1.35	1.35	V
			6.0V		1.8	1.8	1.8	V
V _{OH}	Minimum HIGH Level Output Voltage	V _{IH} = V _{IL} I _{OUT} ≤ 20 μA	2.0V	2.0	1.9	1.9	1.9	V
			4.5V	4.5	4.4	4.4	4.4	V
			6.0V	6.0	5.9	5.9	5.9	V
		V _{IH} = V _{IL} I _{OUT} ≤ 4.0 mA I _{OUT} ≤ 5.2 mA	4.5V	4.2	3.98	3.84	3.7	V
			6.0V	5.7	5.48	5.34	5.2	V
V _{OL}	Maximum LOW Level Output Voltage	V _{IH} = V _{IH} I _{OUT} ≤ 20 μA	2.0V	0	0.1	0.1	0.1	V
			4.5V	0	0.1	0.1	0.1	V
			6.0V	0	0.1	0.1	0.1	V
		V _{IH} = V _{IH} I _{OUT} ≤ 4.0 mA I _{OUT} ≤ 5.2 mA	4.5V	0.2	0.26	0.33	0.4	V
			6.0V	0.2	0.26	0.33	0.4	V
I _{IH}	Maximum Input Current	V _{IH} = V _{CC} or GND	6.0V		±0.1	±1.0	±1.0	μA
I _{CC}	Maximum Quiescent Supply Current	V _{IH} = V _{CC} or GND I _{OUT} = 0 μA	6.0V		2.0	20	40	μA

Note 4: For a power supply of $5V \pm 10\%$ the worst case output voltages (V_{OH} and V_{OL}) occur for HC at 4.5V. Thus the 4.5V values should be used when designing with this supply. Worst case V_{OH} and V_{IL} occur at $V_{CC} = 5.5V$ and 4.5V respectively. (The V_{OH} value at 5.5V is 3.85V.) The worst case leakage current (I_{IH} , I_{CC} , and I_{OZ}) occur for CMOS at the higher voltage and so the 6.0V values should be used.



AC Electrical Characteristics

$V_{CC} = 5V$, $T_A = 25^{\circ}C$, $C_L = 15\text{ pF}$, $t_i = t_f = 8\text{ ns}$

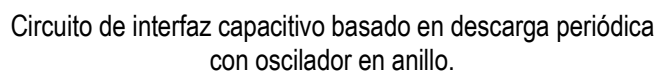
Symbol	Parameter	Conditions	Typ	Guaranteed Limit	Units
t_{PHL} , t_{PLH}	Maximum Propagation Delay		8	15	ns

AC Electrical Characteristics

$V_{CC} = 2.0V$ to $6.0V$, $C_L = 50\text{ pF}$, $t_i = t_f = 8\text{ ns}$ (unless otherwise specified)

Symbol	Parameter	Conditions	V_{CC}	$T_A = 25^{\circ}C$		$T_A = -40$ to $85^{\circ}C$	$T_A = -55$ to $125^{\circ}C$	Units
				Typ	Guaranteed Limits			
t_{PHL} , t_{PLH}	Maximum Propagation Delay		2.0V	55	95	120	145	ns
			4.5V	11	19	24	29	ns
			6.0V	9	16	20	24	ns
t_{RHL} , t_{FLH}	Maximum Output Rise and Fall Time		2.0V	30	75	95	110	ns
			4.5V	8	15	19	22	ns
			6.0V	7	13	16	19	ns
C_{PD}	Power Dissipation Capacitance (Note 5)	(per gate)		20				pF
C_{IN}	Maximum Input Capacitance			5	10	10	10	pF

Note 5: C_{PD} determines the no load dynamic power consumption, $P_D = C_{PD} V_{CC}^2 f + I_{CC} V_{CC}$, and the no load dynamic current consumption, $I_D = C_{PD} V_{CC} f + I_{CC}$.

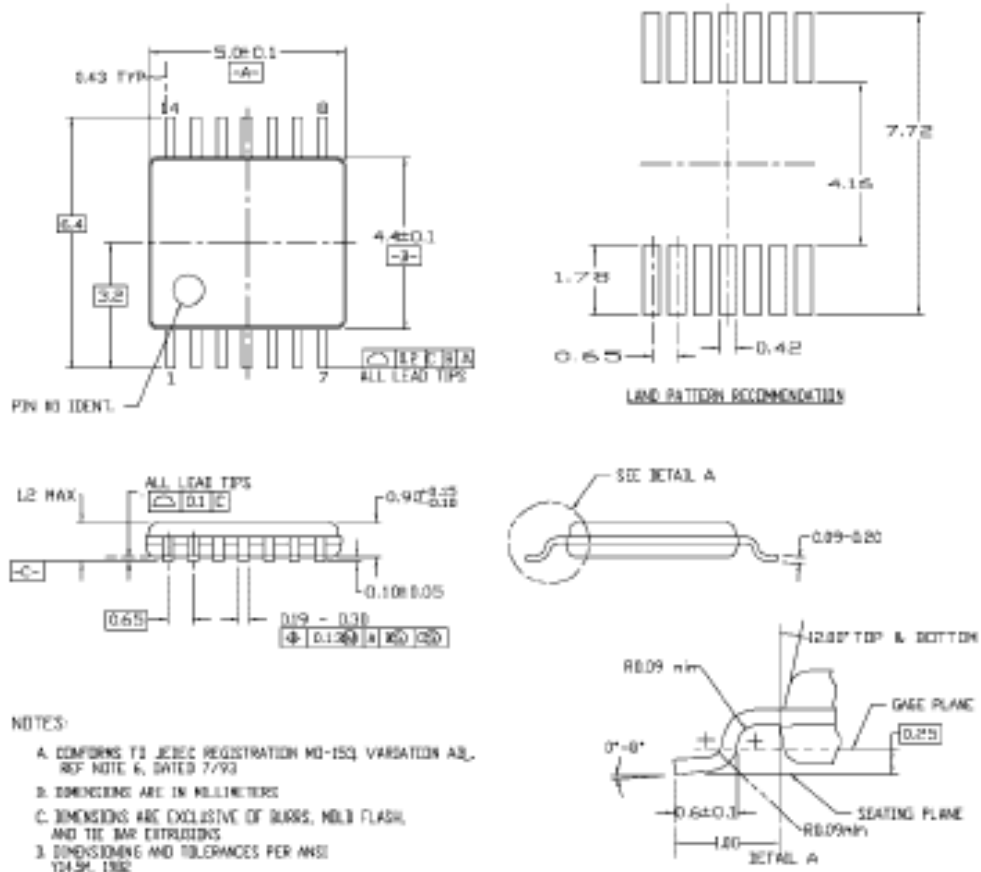


www.fairchildsemi.com



MM74HC04

Physical Dimensions Inches (millimeters) unless otherwise noted (Continued)



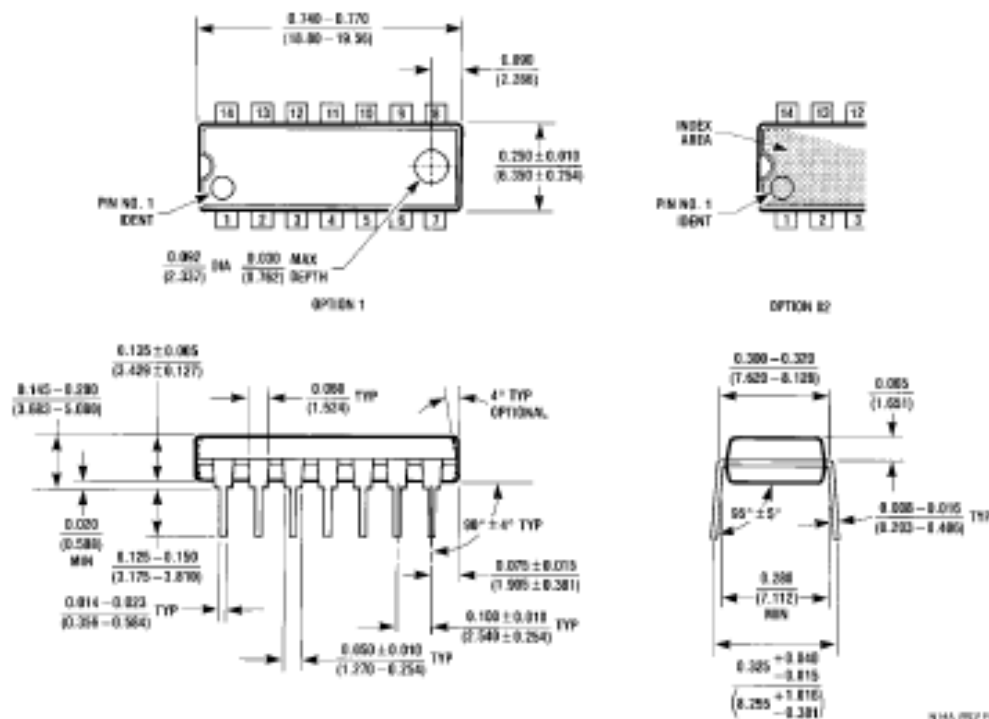
NTC14revD

14-Lead Thin Shrink Small Outline Package (TSSOP), JEDEC MO-153, 4.4mm Wide
Package Number MTC14



Circuito de interfaz capacitivo basado en descarga periódica
con oscilador en anillo.

Physical Dimensions inches (millimeters) unless otherwise noted (Continued)



14-Lead Plastic Dual-In-Line Package (PDIP), JEDEC MS-001, 0.300" Wide
Package Number N14A

Fairchild does not assume any responsibility for use of any circuitry described, no circuit patent licenses are implied and Fairchild reserves the right at any time without notice to change said circuitry and specifications.

LIFE SUPPORT POLICY

FAIRCHILD'S PRODUCTS ARE NOT AUTHORIZED FOR USE AS CRITICAL COMPONENTS IN LIFE SUPPORT DEVICES OR SYSTEMS WITHOUT THE EXPRESS WRITTEN APPROVAL OF THE PRESIDENT OF FAIRCHILD SEMICONDUCTOR CORPORATION. As used herein:

1. Life support devices or systems are devices or systems which, (a) are intended for surgical implant into the body, or (b) support or sustain life, and (c) whose failure to perform when properly used in accordance with instructions for use provided in the labeling, can be reasonably expected to result in a significant injury to the user.
2. A critical component in any component of a life support device or system whose failure to perform can be reasonably expected to cause the failure of the life support device or system, or to affect its safety or effectiveness.

www.fairchildsemi.com



8.3 Datasheet BS250P

P-CHANNEL ENHANCEMENT MODE VERTICAL DMOS FET

ISSUE 2 - SEPT 93

FEATURES

- * 45 Volt V_{DS}
- * $R_{DS(on)} = 14\Omega$

REFER TO ZVP2106A FOR GRAPHS

BS250P



E-Line
TO92 Compatible

ABSOLUTE MAXIMUM RATINGS.

PARAMETER	SYMBOL	VALUE	UNIT
Drain-Source Voltage	V_{DS}	-45	V
Continuous Drain Current at $T_{amb} = 25^\circ\text{C}$	I_D	-230	mA
Pulsed Drain Current	I_{DM}	-3	A
Gate-Source Voltage	V_{GS}	± 20	V
Power Dissipation at $T_{amb} = 25^\circ\text{C}$	P_{tot}	700	mW
Operating and Storage Temperature Range	T_j, T_{stg}	-55 to +150	$^\circ\text{C}$

ELECTRICAL CHARACTERISTICS (at $T_{amb} = 25^\circ\text{C}$).

PARAMETER	SYMBOL	MIN.	TYP.	MAX.	UNIT	CONDITIONS.
Drain-Source Breakdown Voltage	BV_{DSS}	-45			V	$I_D = -100\mu\text{A}$, $V_{GS} = 0\text{V}$
Gate-Source Threshold Voltage	$V_{GS(th)}$	-1		-3.5	V	$I_D = -1\text{mA}$, $V_{DS} = V_{GS}$
Gate Body Leakage	I_{GSS}			-20	nA	$V_{GS} = -15\text{V}$, $V_{DS} = 0\text{V}$
Zero Gate Voltage Drain Current	I_{DSS}			-500	nA	$V_{GS} = 0\text{V}$, $V_{DS} = -25\text{V}$
Static Drain-Source on-State Resistance (1)	$R_{DS(on)}$			14	Ω	$V_{GS} = -10\text{V}$, $I_D = -200\text{mA}$
Forward Transconductance (1)(2)	g_{fs}		150		mS	$V_{DS} = -10\text{V}$, $I_D = -200\text{mA}$
Input Capacitance (2)	C_{iss}		60		pF	$V_{GS} = 0\text{V}$, $V_{DS} = -10\text{V}$ $f = 1\text{MHz}$
Turn-On Time (2)(3)	$t_{(on)}$			20	ns	$V_{DD} = -25\text{V}$, $I_D = -500\text{mA}$
Turn-Off Time (2)(3)	$t_{(off)}$			20	ns	

(1) Measured under pulsed conditions. Pulse width=300 μs . Duty cycle $\leq 2\%$. (2) Sample test
(3) Switching times measured with a 50 Ω source impedance and <5ns rise time on a pulse generator



Capítulo 9: BIBLIOGRAFÍA.



- [1] Hadaway, Dave "Sources of distortion in preamps", BAS Speaker, Feb. 1977
- [2] Curl, J "Omitted Factors in Audio Circuit Design", 1978 IEEE Conference on Acoustics, Speech, and signal processing, april, 1978.
- [3] Walter G. Jung & Richard Marsh "picking capacitors"
- [4] Pallas Areny, Ramón. (2007). Sensores y acondicionadores de señal. Barcelona. Ed. Marcombo.
- [5] Videl Vinasco, Julio César (5 de mayo de 2013). Puentes de medición. Instrumentación electrónica I. (Mensaje en un blog). Recuperado de: <http://jcvunillanos.blogspot.com.es/2013/05/puentes-de-medicion.html>
- [6] Lunati, Valentín; Podlubne, Ariel y Matías González, Fernando y más. (2013). Micrófonos MEMS: Análisis y aplicaciones en audición binaural. Córdoba, Argentina.
- [7] Vargas, Marlin (28 de mayo de 2007). Sensores capacitivos e inductivos. Sistemas de medidas y teoría de Errores (Mensaje en un Blog). Recuperado de: <http://medicionesindustriales2007i.blogspot.com.es/2007/05/sensores-capacitivos-e-inductivos.html>
- [8] Ambrosio, R. Mireles, J. Rincón-Jara, R.I. (2010). Análisis y caracterización de un acelerómetro capacitivo fabricado con tecnología polymump's. Ciudad Juárez, México.
- [9] Guillote, Mario (19 de mayo de 2013). Micrófonos MEMS (Analógicos y Digitales. Los microcontroladores y yo. (Mensaje en un blog). Recuperado de <http://marioguillote.blogspot.com.es/2013/05/microfonos-mems-analogicos-y-digitales.html>
- [10] Russ, Martín. (1999). Síntesis y muestreo de sonido. Madrid. Instituto Oficial de Radio y Televisión.
- [11] Franco Peláez, Francisco J., Mártel de la Plaza, Ignacio y González Díaz, Germán. (2012). Osciladores. Electrónica Analógica. Universidad Complutense de Madrid.
- [12] Camacho León, Sergio y Losoya Leal, Adrián. (2013). Introducción a la simulación de sistemas microelectromecánicos y microfluídicos. México. Ed. Kindle.
- [13] Introduction to MEMS Accelerometers (2016-2017). "Introduction to MEMS Accelerometers. Depew, Nueva York. Recuperado de <http://www.pcb.com/Resources/Technical-Information/mems-accelerometers>
- [14] Madou, Marc J. (1997). Fundamentals of microfabrication. Universidad de California, Irvine, USA. CRC Press.
- [15] Ortega Cisneros, Susana. Las nuevas tecnologías de Sistemas Microelectromecánicos (MEMS) en la vida diaria. Universidad de Guadalajara